



ИФЗ·РАН

ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОЖИН





ИФЗ·РАН

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ
им. О.Ю. ШМИДТА

**ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
РОГОЖИН**
(1947-2021)



Москва
2022

УДК 55(092)

Евгений Александрович Рогожин (1947-2021). - М.: ИФЗ РАН, 2022. - 196 с.

ISBN 978-591682-068-3

Книга посвящена памяти выдающегося ученого, доктора геолого-минералогических наук, профессора Евгения Александровича Рогожина (1947–2021), научный путь которого неразрывно связан с Институтом физики Земли. С различной степенью детальности рассматривается плодотворная и многогранная научная, организаторская и педагогическая деятельность Е.А. Рогожина и его вклад в развитие и становление отдельных направлений современной сейсмо тектоники, геодинамики и оценки сейсмической опасности. Страницы воспоминаний о научных достижениях Евгения Александровича проникнуты светлой благодарной памятью коллег о его лучших человеческих качествах, проявлявшихся в совместной работе.

Составитель
Л.И. Иогансон

Редакционный совет:

Баюк И.О., Корженков А.М., Краснова М.А.,
Кошкарева Е.С., Пономарев А.В., Михайлов В.О.,
Морозов Ю.А., Кузьмин Ю.О., Собисевич А.Л.,
Алешин И.М., Завьялов А.Д., Конешов В.Н.,
Татевосян Р.Э., Лиходеев Д.В., Шалимов С.Л.,
Ларьков А.С., Макеева Л.И., Любушин А.А. Бе-
лявский В.В.

ISBN: 978-5916820683



© ИФЗ РАН, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i>	5
<i>Иогансон Л.И.</i>	
Научный путь Е.А. Рогожина	7
<i>Овсяченко А.Н.</i>	
Вклад Е.А. Рогожина в изучение сейсмотектоники, геодинамики и сейсмической опасности (на примере Кавказа)	33
<i>Яковлев Ф.Л.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ СКЛАДЧАТОСТИ В ТВОРЧЕСТВЕ Е.А. РОГОЖИНА.	112
<i>Корженков А.М.</i>	
ВОСПОМИНАНИЯ О ПРОФЕССОРЕ Е. А. РОГОЖИНЕ.	139
<i>Алешин А.С.</i>	
Е.А. РОГОЖИН КАК НАЧАЛЬНИК	159
<i>Васютинская С.Д.</i>	
КОГДА МЫ БЫЛИ МОЛОДЫМИ...	163
<i>Димитров О.В.</i>	
ПОСВЯЩЕНИЕ ПРОФЕССОРУ Е. А. РОГОЖИНУ	165
<i>Заалишвили В.Б.</i>	
ПАМЯТЬ О ДРУГЕ. ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОЖИН	167
<i>Лутиков А.И.</i>	
ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОЖИН	172
<i>Милановский С.Ю.</i>	
О ЕВГЕНИИ АЛЕКСАНДРОВИЧЕ РОГОЖИНЕ	175
<i>Миронова Н.А.</i>	
ЖЕНЯ РОГОЖИН	178
<i>Надёжка Л.И., Ефременко М.А.</i>	
ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ — ДРУГ, КОЛЛЕГА, УЧИТЕЛЬ	179
<i>Собисевич А.Л.</i>	
ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОЖИН В МОЕЙ ЖИЗНИ И ПАМЯТИ.	182
<i>Николаев А.В., Трифонов В.Г.</i>	
РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ Е.А. РОГОЖИНА «Очерки региональной сейсмотектоники»	191
<i>Сведения об авторах</i>	195



Евгений Александрович Рогожин. 2010-е годы.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В этой книге мы вспоминаем о работах выдающегося учёного, доктора геолого-минералогических наук, профессора Евгения Александровича Рогожина, крупнейшего российского специалиста в области сейсмотектоники.

С именем Е.А. Рогожина связана целая эпоха фундаментальных научных исследований тектонической природы сейсмичности и разномасштабных геологических структур, связанных с её катастрофическими проявлениями. Он активно участвовал в организации и проведении полевых работ в очаговых областях сильнейших землетрясений на территории нашей страны и за её пределами. Тщательность и скрупулезность в работе с фактическим материалом и фундаментальная обоснованность выводов существенно обогатили мировую и отечественную сейсмотектонику, как науку, основанную на стыке общей и региональной геотектоники, геоморфологии, структурной и исторической геологии, сейсмологии и геофизики.

Страстная приверженность полевым работам с привлечением всего комплекса современных геолого-геофизических методов позволяла Евгению Александровичу осуществить не только непосредственный контакт с объектами исследования, но и комплексно, всесторонне охватить проблему. Необходимо особо отметить огромный личный вклад профессора Е.А. Рогожина в развитие палеосейсмологии. Им были получены новые знания о глубинном строении очаговых зон сильных землетрясений, а также сформулированы оригинальные представления о долгосрочном сейсмическом режиме с привлечением инструментальных, исторических и палеосейсмологических данных. Эти и многие другие исследования стали основой его последней книги – фундаментальной монографии «Очерки региональной сейсмотектоники».

К великому сожалению, Евгению Александровичу не суждено было завершить многие из намеченных им планов. Но в своих трудах он оставил нам впечатляющее научное наследие, освоение

которого будет непосредственно способствовать дальнейшему развитию целого ряда направлений фундаментальных исследований в науках о Земле.

Велик вклад Евгения Александровича в организацию фундаментальной и прикладной науки. Долгое время он работал на посту заместителя директора ИФЗ РАН. В сферу его ответственности входила, в частности, координация работы с МЧС и Минстроем России. Евгений Александрович возглавлял Российский экспертный совет по прогнозу землетрясений, осуществляющий сбор и анализ прогностической информации, формирование экспертных справок и их направление в МЧС.

Настоящая книга выходит в свет накануне «Белоусовских чтений» – ежегодной всероссийской научной конференции «Геотектоника и геодинамика сейсмоактивных районов», которую неизменно организовывал в нашем институте Евгений Александрович. В этом году научное мероприятие закономерно посвящено 75-летию со дня рождения Е.А. Рогожина и 115-летию со дня рождения В.В. Белоусова.

Евгений Александрович Рогожин оставил значимый след в науках о Земле, а его научные идеи, проекты и начинания продолжают жить и развиваться благодаря подготовленным им ученикам, соратникам и последователям.

*Директор ИФЗ РАН,
чл.-корр. РАН
С.А.Тихоцкий*

Л.И. Иогансон

НАУЧНЫЙ ПУТЬ Е.А. РОГОЖИНА

Евгений Александрович Рогожин родился 16 декабря 1946 г. (2 января 1947 г.) в г. Мерзебурге, вблизи г. Лейпциг (Восточная Германия), в семье советского военнослужащего. В школьные годы он участвовал в археологических экспедициях, прививших ему вкус к полевой работе и интерес к природе и истории. Так что поступление на кафедру исторической геологии Геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова было в значительной мере осознанным решением, обусловленным опытом работ в экспедициях. 1965–1971 годы, время учебы Е.А. в МГУ им. М.В. Ломоносова, были периодом расцвета Геологического факультета, здесь преподавали звезды первой величины — В.В. Белоусов, В.В. Меннер, Е.Е. Милановский, Г.П. Горшков, Г.П. Леонов, Д.П. Найдин, Н.И. Николаев и другие, а деканом факультета был выдающийся геолог А.А. Богданов, что обеспечивало высокое качество образования студентов и создавало особую атмосферу от присутствия значительных личностей. Но, кроме специальных знаний, в университетский период Е.А. Рогожин приобрел солидный практический опыт, работая лаборантом, старшим лаборантом, инженером в Институте минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ). В течение шести сезонов в составе экспедиции ИМГРЭ под руководством К.Л. Волочковича он участвовал в полевых исследованиях структуры западной части Туркестанского хребта. В 1971 г. Е.А. с отличием окончил Геологический факультет МГУ по специальности «Геологическая съемка и поиски месторождений полезных ископаемых». Узнав случайно, что В.В. Белоусов, зав. крупным отделом в Институте физики Земли АН СССР, ищет кандидатуру аспиранта для занятий вопросами складчатости, полагая, что «от представлений о причинах и механизме складкообразования во многом

зависят наши значительно более общие представления о развитии Земли в целом и о характере самых основных процессов, развивающихся в земных недрах» [Белоусов, 1962, с. 3]. Е.А. без особых рекомендаций, что называется «с улицы», но с огромным объемом структурных материалов по складчатой зоне Южного Тянь-Шаня, пришел к Белоусову. С таким багажом и пониманием сути проблемы он был, несомненно, самым подходящим кандидатом в будущие аспиранты. Так с аспирантуры началась связь Е.А. с ИФЗ, где он проработает 50 лет, пройдя путь от аспиранта, младшего и старшего научного сотрудника до доктора наук, зав. лаборатории, зам. директора и руководителя крупного отдела.

В научной деятельности Е.А. Рогожина можно выделить три периода по содержанию исследований и ответам на вызовы времени. Первый период, с 1971 г. до 1990 г., был связан с исследованиями структурных особенностей складчатых областей в составе отдела геодинамики, руководимого В.В. Белоусовым. Непосредственные контакты с этим выдающимся ученым, очевидно, предопределили широкое содержание научных интересов Рогожина, умение ставить частный геологический феномен в контекст фундаментальных вопросов геотектоники, а также, несомненно, налагали особую ответственность за качество личных результатов, способствуя усвоению глубокого и взыскательного подхода к повседневной работе в науке.

В 1974 г. Рогожин защищает кандидатскую диссертацию «Структурная зональность западной части Туркестанского хребта и гор Мальгузар (Южный Тянь-Шань) и палеозойская история ее формирования», а в 1977 г. в издательстве «Наука» выходит его первая монография «Палеозойская тектоника западной части Туркестанского хребта». В работе представлен анализ морфологических особенностей складчатости изученной части Южного Тянь-Шаня и показана пространственная неоднородность складчатых деформаций в зависимости от региональной структуры и истории развития региона. Принципиальным выводом стало положение о связи интенсивности складчатости с размахом и контрастностью вертикальных движений, однако вопрос о механизме складчатости не рассматривается. Анализ и выводы работы основаны на положениях геосинклинальной парадигмы.

В последующие годы, вплоть до конца 1980-х гг., продолжают исследования морфологических особенностей складчатости на Тянь-Шане и Большом Кавказе, где Е.А. Рогожин работает с

В.Н. Шолпо, Б.А. Борисовым, Г.И. Рейснером, Ф.Л. Яковлевым. Разрабатывается комплексная методика количественно-качественной оценки степени морфологической неоднородности геосинклинальной складчатости, в которой наряду с полевым изучением конкретных складок по усложненным критериям выделения разнотипных структур предусматривается математическое и экспериментальное моделирование складчатых структур (в лаборатории тектонофизики МГУ), а также количественный анализ размаха и контрастности вертикальных движений. Предложена также новая усложненная классификация полной (голомофной) складчатости.



В 1960-е годы

В результате более чем десятилетних исследований был собран и проанализирован с единых позиций богатейший материал по латеральной и вертикальной неоднородности складчатых структур Южного Тянь-Шаня и Большого Кавказа, что позволило поставить вопрос о природе их возникновения. Генетический подход подразумевал, прежде всего, оценку приоритета вертикальных или горизонтальных движений в образовании складчатости. Основные выявленные закономерности пространственного распределения складчатых структур в пределах и Южного Тянь-Шаня, и Большого Кавказа однозначно показывали, что наиболее интенсивные складчатые дислокации наблюдаются в осевых частях складчатых систем, в ядрах крупных антиклинориев. В периферийных частях антиклинориев и особенно синклинориев интенсивность складчатости существенно ослабевает. Характер складчатости тесно коррелирует с режимом вертикальных движений, будучи в прямой зависимости от их размаха и контрастности. Горизонтальные складкообразую-

щие напряжения диагностировались локально, в зонах линейных разломов.

Весь комплекс полученных материалов по закономерному размещению различных типов складчатых структур убеждал Е.А. Рогожина в приоритете вертикальных тектонических движений, проявляющихся в ходе геологического развития складчатой зоны. В качестве главного механизма складкообразования он принимает «термофлюидную адвекцию в гравитационно неустойчивых массах пород», подчеркивая, что «внешнее горизонтальное сжатие проявляется локально и играет в процессе складкообразования синхронизирующую и провоцирующую роль» [Рогожин, 1988. С. 9]. Накопленный материал и его анализ, исчерпывающее изложение истории вопроса обобщены в работе «Неоднородность складчатых систем и механизм их образования (на примере Южного Тянь-Шаня и Большого Кавказа)», которую Е.А. Рогожин представил в 1988 г. как докторскую диссертацию. Можно с уверенностью сказать, что в ней он предстает как сложившийся крупный специалист по одному из наиболее спорных до сих пор направлений в геодинамике, которое обозначено им как самостоятельное и равноправное направление наряду с другими при изучении геосинклинальных областей. Защита планировалась 19 апреля 1989 г. Оппонентами были назначены Б.В. Григорьянц из Азербайджана, Ю.Г. Леонов (ГИН АН СССР) и Б.Б. Таль-Вирский.

Но на защиту диссертации Е.А. не вышел. Не забудем, что было в стране и в науке, в том числе в геологии в конце 1980-х гг. Концепция термофлюидной адвекции (однонаправленного вертикального потока аномального мантийного вещества, вызывающего преобразования в земной коре) разработана В.В. Белоусовым, и как раз эта концепция удовлетворительно объясняла парадокс размещения наиболее сложной складчатости в осевых зонах складчатых систем, их ослабевание вплоть до полного вырождения к периферии, что было в необъяснимом противоречии с приматом бокового горизонтального сдавливания. Однако к этому времени авторитет В.В. Белоусова в геологическом сообществе, в том числе и в отечественном был сильно поколеблен его непримиримой позицией по отношению к плитной тектонике, завоевавшей умы большинства геологов. Соответственно не принимались во внимание его концепция и большинство работ второй половины 1980-х годов – наиболее зрелых и аргументированных.



В 1970-е годы

И вот в такой ситуации появляется диссертация Е.А. Рогожина, где ставится под сомнение святое святых плитотектонистов — происхождение складчатости за счет бокового горизонтального сдвигания и открыто пропагандируются идеи В.В. Белоусова о примате вертикальных движений. Другими словами, к защите представлялась работа с отчетливо фиксистскими позициями, сторонники которых в то время примерно соответствовали нынешним «нерукопожатным». Еще на этапе подготовки к защите появилась критическая статья В.Е. Хаина в журнале «Геотектоника» «Некоторые замечания к статье Е.А. Рогожина и В.Н. Шолпо “Неоднородность полной складчатости Большого Кавказа”» [Хаин, 1988], в которой представления авторов рассматривались как еще одна попытка «опровержения концепции образования складчато-надвигового сооружения Большого Кавказа, а следовательно, и других сооружений подобного типа за счет действия горизонтальных сил сжатия» [Хаин, 1988. С. 110]. Обсуждение работы происходило в недоброжелательной напряженной атмосфере, были получены отрицательные отзывы от одного из оппонентов и головной организации (МГУ).

Все это вынудило Е.А. отказаться от защиты. Кроме того, следом за В.Е. Хаиным вышла еще одна, расширенная, отрицательная рецензия Ю.Г. Леонова на упомянутую статью, представляющая, по сути, его отрицательный отзыв на диссертацию Рогожина, в которой повторялось мнение В.Е. Хаина о попытке дискредитировать горизонтальные движения и альтернативные механизмы складкообразования «из общих соображений» [Леонов, 1989].

От диссертации остался автореферат, раритетное издание, чудом сохранившееся в библиотеке ИФЗ. Тем не менее в 1993 г. в издательстве «Наука» вышла книга В.Н. Шолпо, Е.А. Рогожина, М.А. Гончарова «Складчатость Большого Кавказа», в которой изложен детальный фактический материал по морфологии складчатых деформаций Большого Кавказа и существенной неоднородности в их распределении на площади. Основным механизмом складкообразования принимается адвекция, понимаемая как иерархический и многоэтажный процесс. Что удивительно, книга не вызвала шквала критики. Не объяснялось ли все это тем, что В.В. Белоусов, против кого была главным образом направлена кампания 1988—1989 гг., уже ушел из жизни?

Теперь, более чем через 30 лет после этих событий, совершенно отчетливо видится большой урон от фактически загубленного научного направления по изучению складчатости в природной среде, что было следствием принятия парадигмы плитной тектоники в геологии, в рамках которой исследования конкретных складчатых зон не были необходимы для построения глобальной геодинамической модели с коллизионными зонами. Изучение если и продолжалось, то в сильно редуцированном виде модельных построений или уцелевших экспериментальных работ в тектонофизике. Разумеется, случай Е.А. Рогожина — лишь один эпизод в сознательном отказе от всестороннего изучения важнейшего геологического феномена, но случай на редкость показательный.

Для Е.А. Рогожина ситуация вокруг докторской диссертации стала поворотным пунктом в смене приоритетного направления в исследованиях и определила содержание второго периода его научной карьеры. Через год, в 1990 г., он успешно защитил докторскую диссертацию на тему «Тектоника очаговых зон сильных внутриконтинентальных землетрясений (на примере юга СССР и Западного Средиземноморья)». В основу диссертации легли личные наблюдения в очаговых зонах нескольких силь-

ных землетрясений, которые Рогожин изучал в составе эпицентральных экспедиций. Кроме того, с первой половины 1980-х годов он занимался обеспечением геологического обоснования экспериментальных разработок механизма очага землетрясений, проводившихся в ИФЗ в 1970–1980-е годы под руководством В.И. Мячкина.

Первые опыты собственно сейсмотектонических исследований с картированием сейсмодислокаций и проходкой траншей он получил в начале 1980-х годов при изучении очага Эль-Аснамского землетрясения 10 октября 1980 г. в Алжире, через 2.5 года после толчка, а также туркменских землетрясений (Кумдагского 14 марта 1983 г. и Бурунского 22 февраля 1984 г.) и эпицентральной зоны Газлийских землетрясений 1976 и 1984 г. в Узбекистане. Сейсмотектонические исследования проводились совместно с Г.И. Рейснером и Б.А. Борисовым. К этим материалам добавился анализ макросейсмических и инструментальных наблюдений в очаговых зонах Черногорского землетрясения 15 апреля 1979 г. а также наблюдения в эпицентральной зоне Кайраккумского землетрясения 13 октября 1985 г. и материалы по Каспийскому толчку 6 марта 1986 г. Когда 7 декабря 1988 г. разразилась Спитакская катастрофа, Е.А. Рогожин уже обладал достаточным опытом исследования очаговых зон и принял участие в международной Спитакской эпицентральной экспедиции. Комплексное изучение очага этого сильнейшего события принесло обильные результаты для понимания строения и механизма землетрясений такого класса.

Неудача с защитой докторской диссертации по проблемам складчатости не стала для Е.А. Рогожина фатальной неудачей. Это была не научная неудача, а скорее, психологическая, обусловленная рядом конъюнктурных обстоятельств, с которыми справиться было не в его (а, может, тогда и в ничьих) силах. Но к этому времени у Рогожина уже был накоплен большой материал не только по особенностям складчатой структуры двух крупных орогенных зон, но и по их сейсмичности, что заставило его переориентировать свои научные интересы на проблему сейсмичности. Следует отметить, что уже первые его исследования в этом направлении отличались широтой подхода, своеобразной иерархией рассмотрения изучаемых объектов, умением вписывать конкретные вопросы в более общие проблемы. Поэтому и при изучении складчатости не остались в стороне вопросы сейсмичности, региональной тектоники и геологической исто-

рии территории. Теперь на фоне приоритетной роли сейсмичности в исследованиях прежние результаты по структурным особенностям складчатых областей были органично ассимилированы в анализе и составили основу для понимания устройства геологической среды, где развивается сейсмический процесс.

В докторской диссертации Рогожина проанализированы материалы по строению очаговых зон перечисленных выше землетрясений, а также привлечен обширный литературный материал по сильнейшим сейсмическим событиям XX в. — Каратагскому (1907 г.), Кеминскому (1911), Кемино-Чуйскому (1938), Чаткальскому (1946), Ашхабадскому (1948), Гоби-Алтайскому (1957), Манагуа (1972), Идзу-Осима-Кинкай (1978), Фриули (1976—1977), Япономорскому (1983). В качестве фундаментальной поставлена задача выяснения генетической природы сейсмического очага — проблемы, острая дискуссионность которой обсуждалась в литературе. В этот период конкурировали гипотезы разломной приуроченности очагов землетрясений (И.Е. Губин, Н.В. Шебалин), концепция «сейсмогенных объемов», понимаемых как разнородные геологические тела или блоки, в которых накапливаются напряжения, основным апологетом которой был Г.П. Горшков, и концепция дизъюнктивных узлов разных рангов (В.И. Кейлис-Борок и др.).

На основании комплексного подхода, включающего геолого-геофизические данные о строении района возникновения землетрясения, изучение сейсмодислокаций на поверхности, конфигурацию облака афтершоков и другие материалы, Рогожину удалось получить ряд важных выводов о строении сейсмического очага. Была установлена связь энергии (магнитуды) землетрясения с характером сейсмического очага, так что возрастание магнитуды определяло реализацию сейсмического толчка во все более сложной геологической среде.

Так, наиболее слабые из проанализированных землетрясений — Кумдагское и Кайраккумское (с $M < 6$) — характеризовались сейсмическим очагом в виде единой плоскости в зонах крупных глубинных разломов и незначительными размерами смещения. Очаги землетрясений с $6.8 \geq M \geq 6$ (Бурунское, Каспийское) имели большие размеры и были приурочены к дизъюнктивным узлам, где распространение подвижки происходит вдоль сочленяющихся или пресекающихся разломов. Наиболее сильные землетрясения (Эль-Аснамское, Спитакское, Ашхабадское, Газлийские) с $M = 6.8-7.3$ связаны с подвижками по системе разнонаправленных (вертикальных и наклонных)

разломов, а иногда с горизонтальными срывами в глубине сейсмогенного слоя.

Таким образом, однозначным выводом из проведенного анализа было признание того, что «очаги сильных сейсмических событий всегда распространяются вдоль плоскостей разломов как единичных, так и нескольких пересекающихся или сочленяющихся, но нет таких случаев, когда очаг имел бы неразломную природу» [Рогожин, 1990. С. 40]. Однако однозначность этого вывода решительно уточнялась заключением о строении структуры очаговых зон серий сильных землетрясений (Фриули, Газлийских): «Проявление этих сейсмических событий на поверхности и в глубине свидетельствует об объемной структуре очаговых зон, о распространении очагов отдельных землетрясений таких серий вдоль границ крупных сейсмогенных блоков, а также вдоль наклонных и субгоризонтальных тектонических, геологических и геофизических разделов, ограничивающих такие блоки снизу» [Рогожин, 1990. С. 23].

Овладение методикой сеймотектонического анализа с использованием тогда еще малоприменяемого палеосейсмологического подхода и результаты анализа очаговых зон сильных землетрясений, изложенные в докторской диссертации, обеспечили Е.А. Рогожину успешное вхождение в новое научное направление и признание его как авторитетного сеймотектониста. Начиная с этого момента Е.А. Рогожин занимался сеймотектоникой, а наработанный прежде опыт и материал по изучению и расшифровке структурных форм на различных масштабных уровнях успешно использовался им при анализе структуры очаговых зон.

В 1993 г. Е.А. Рогожин возглавил Лабораторию сеймотектоники в ИФЗ РАН. В задачи лаборатории входили сеймотектонические и палеосейсмологические исследования в различных сейсмоактивных областях страны для оценки сейсмической опасности территории. Заслугой Рогожина было повсеместное внедрение палеосейсмологического метода (тренинга) в практику полевых работ наряду с традиционными геолого-геоморфологическими методами, что оказалось эффективным средством для выявления следов древних землетрясений, существенно дополняло сейсмическую историю регионов и имело непосредственное значение для определения повторяемости сильных сейсмических событий.

Новый материал для сеймотектонических исследований не уставала поставлять сама природа. Начиная с 1990-х

гг. на территории России произошел ряд сильных землетрясений: Шикотанское 1994 г. на Южных Курилах, Нефтегорская сейсмическая катастрофа 1995 г. на севере Сахалина, Кроноцкое 1997 г. на Восточной Камчатке и Углегорское на Центральном Сахалине. Эти дальневосточные землетрясения как будто специально расширили рамки геодинамических обстановок, дополнив изученные прежде внутриконтинентальные условия сейсмическими проявлениями на активной Тихоокеанской окраине Евразии. Кроме того, 27 сентября 2003 г. на юге Горного Алтая произошло сильнейшее Алтайское (Чуйское) землетрясение, а 20 апреля 2006 г. — Олюторское землетрясение в Корякии, Симуширские (Курильские острова) 2006 и 2007 г. и Тувинские 2011–2012 гг. землетрясения. Таким образом, практически все сейсмоактивные зоны Северной Евразии продемонстрировали свой сейсмический потенциал.

Очаговые зоны этих землетрясений изучались в составе хорошо организованных эпицентральных экспедиций, в которых Е.А. Рогожин принимал личное участие. Это была уже ушедшая эпоха эпицентральных экспедиций, в которых выполнялся большой комплекс геолого-геофизических и геодезических работ. Проводились макросейсмические исследования для выяснения распределения на поверхности сейсмических колебаний и построения карт изосейст (балльности). Полевые работы по картированию сейсмодислокаций геолого-геоморфологическими методами выявляли размеры и структуру сейсмического очага на поверхности, а также характер сейсмогенерирующей подвижки. Они дополнялись палеосейсмогеологическими исследованиями для выявления свидетельств древних землетрясений. Развернутые сети сейсмических станций поставляли материал о развитии афтершокового процесса и строении сейсмического очага на глубине. Полученные данные позволяли строить трехмерную модель сейсмического очага с выделением сейсмогенерирующей структуры и главных плоскостей подвижек с определением направления смещений и его амплитуды.

Особое значение в этом ряду имело Алтайское землетрясение 2003 г. Оно не было неожиданным, а было спрогнозировано в Лаборатории сейсмотектоники двумя методами. Здесь следует напомнить о внерегиональном сейсмотектоническом методе, разработанном в 90-е годы доктором геолого-минералогических наук Г.И. Рейснером. Детальная комплексная типизации земной коры по характеристикам ее структуры (мощности земной коры, глубины

залегания поверхности консолидированного фундамента, высоты и размаха рельефа) и энергетического состояния (плотности теплового потока и величины изостатических аномалий) после сопоставления с сейсмологическими данными использовалась как основа для сеймотектонического районирования. А сопоставление с сейсмологическими данными обеспечивало оценку прогнозных $M_{\text{макс}}$. В результате были выявлены неизвестные ранее потенциальные очаги землетрясений, в том числе и на Алтае, где были обнаружены потенциальные очаги магнитудами 7.5 и даже 8. Вместе с тем территория Русского Алтая характеризовалась умеренной сейсмичностью, магнитуды происшедших здесь землетрясений не достигали 7, хотя южнее, на территории Гобийского Алтая, землетрясения подобной силы происходили неоднократно.

Эти данные послужили основанием для проведения на этой территории палеосейсмогеологических исследований [Рогожин, Платонова, 2002]. В 1996 и 1998 г. были пройдены четыре траншеи, в которых установлены несомненные следы древних сейсмических



Сейсморазрыв Алтайского землетрясения 2003 г.

событий. Так, в районе высоких прогнозных магнитуд в течение голоцена произошло по крайней мере пять сильных землетрясений (магнитудой не менее 7.5). Очаг Алтайского землетрясения 27 сентября 2003 г. с $M = 7.3$ приурочен именно к этому району. Полученные оценки $M_{\text{макс}}$ с применением двух независимых методов были приняты для территории Алтая при составлении новой карты общего сейсмического районирования России (ОСР-97).

Проведенные после землетрясения оперативные сейсмотектонические работы в этом очаге обнаружили на редкость выразительную систему сейсмодислокаций, описание которых представляет, можно сказать, классические примеры этого класса структур. Очаг Алтайского землетрясения 2003 г. вышел на поверхность в виде протяженной разветвленной системы сейсморазрывов преимущественно сдвигового типа и активизировал целый блок, ограниченный с юго-запада главным сейсмогенерирующим разломом.

Это сейсмическое событие как бы заполнило пробел в географии сильных землетрясений региона, которые по имеющимся данным до сих пор «избегали» Русского Алтая, создавая иллюзию его относительно сейсмической безопасности. Оно продемонстрировало принадлежность этой территории к единой Алтае-Саянской высокосейсмичной провинции, а также стало хорошим подтверждением эффективности ряда методик, которые позволили прогнозировать здесь возможность землетрясений с $M > 7$. Кроме того, геолого-сейсмологические проявления землетрясения 2003 г. предоставили новый надежный материал для уточнения кинематики и современной структурной позиции конкретных тектонических блоков, задействованных в сейсмических подвижках, подтверждая продолжение генеральной геодинамической направленности развития этой области по сдвиговому сценарию [Рогожин и др., 2007].

Важно отметить, что Альайское землетрясение не привело к серьезным разрушениям и человеческим жертвам, поскольку произошло в малонаселенном горном районе. Это редкий случай, когда научные результаты по изучению грозных проявлений природы не сопровождаются осознанием сопутствующих человеческих трагедий.

В конце 1990-х гг. Е.А. Рогожин уже пользовался международной известностью как признанный сейсмотектонист. В 1999–2003 гг. он возглавлял сейсмотектоническую группу в Российско-Иранском проекте по оценке сейсмической опасности района строительства



Е.А. Рогожин среди участников Российско-Иранского проекта, 2000 г.

атомной станции «Бушер». Под его руководством была составлена карта зон ВОЗ для Бушерского полуострова. В Иране ему довелось провести сеймотектоническое исследование с применением тренчинга очагов довольно сильных Ахрамского (24 сентября 1999 г.) и Каребасского (6 мая 1999 г.) землетрясений, которые произошли непосредственно в период выполнения задач по проекту. Результаты этой работы с выделением зон ВОЗ в регионе были одобрены комиссией МАГАТЭ.

Большая работа была проведена при выполнении международного проекта в рамках INQUA (International Union for Quaternary Research) по оценке интенсивности землетрясений по сейсмически обусловленным эффектам в природной среде (EE, earthquake environment effect). В этом проекте с российской стороны участвовали Е.А. Рогожин и Р.Э. Татевосян, а с итальянской — Leonello Serva, Eutizio Comerci, Valerio Vittori, Eliana Esposito; Luca Guerrieri, Alessandro Maria Michetti, Sabina Porfido и др. В итоге была создана новая 12-балльная шкала интенсивности, основанная на характере первичных и вторичных сейсмодислокаций [Michetti, Esposito,

... Rogozhin et al., 2004]. Шкала официально была утверждена в 2007 г. на XII конгрессе INQUA как ESI intensity scale [Audemard et al., 2015].

В 2007 г. в составе международной группы Е.А. Рогожин принимает участие в ретроспективном обследовании проявлений Могодского землетрясения 5 января 1967 г. в Центральной Монголии [Рогожин и др., 2008].

С 2004 г. Е.А. Рогожин начал читать курс лекций по сейсмоtectонике для студентов V курса и магистрантов на Геологическом факультете МГУ. В основу курса были положены как теоретические аспекты природы сейсмичности и методика ее изучения, так и конкретный материал по строению очагов сильнейших землетрясений мира. В результате несколько его студентов стали аспирантами, а затем сотрудниками ИФЗ. Его педагогическая и, шире, воспитательная деятельность заслуживает высокой оценки еще и по тому моральному воздействию, которое он непроизвольно оказывал на молодых людей своей обстоятельностью, профессиональным мастерством, четкостью и ясностью изложения материала любой сложности, а также несуетностью, простотой и естественностью, с которыми делился своими знаниями, умением заразить исследовательским энтузиазмом начинающих свой путь в науках о Земле. В 2012 г. Е.А. Рогожину присвоено звание профессора.

В 2000-е годы Е.А. Рогожину наряду с научными исследованиями пришлось много внимания и сил уделять административной работе. Сначала бывший тогда директором ИФЗ академик В.Н. Страхов «разглядел» его в качестве зам. директора института по научной части. В этой должности Е.А. проработал с 2001 до 2017 г., проявив лучшие качества администратора — оперативность, уравновешенность, конструктивность. Наряду с большой текущей административной нагрузкой круг его научных интересов, оставаясь в рамках сейсмоtectонических исследований, расширяется за счет вовлечения прогнозной тематики в разных аспектах — от непосредственного изучения прогнозного значения глубокофокусных предвестников сильных землетрясений на Тихоокеанской окраине Евразии, оценки сейсмической опасности ряда районов в детальном масштабе и постановки проблемы прогноза землетрясений в потенциальных сейсмических очагах по комплексу предвестников.

При участии и под руководством Рогожина в эти годы проведены работы по детальному сейсмическому районированию некоторых ключевых районов Российской Федерации и особо важных строя-

щихся объектов с выделением зон ВОЗ и оценкой их сейсмического потенциала (Ставропольский край, Краснодарский край, Центральный Кавказ, Горный Алтай, Сахалин, г. Калининград, Крымский полуостров и др.). Он принимал непосредственное участие в создании «Карты детального сейсмического районирования для Северо-Кавказского федерального округа» и карты для оценки сейсмической опасности в районе строительства Керченского моста, а также территорий проектируемых трубопроводов (Голубой поток, Джубга-Сочи, Сахалин-1 и Сахалин-2, Восточная Сибирь-Тихий океан, Сахалин-Хабаровск-Владивосток, Южный Поток, Сила Сибири, Комсомольск-на-Амуре-Де-Кастри, проект «Алтай») и др.



На Геологическом факультете
МГУ им. М.В. Ломоносова

Параллельно разрабатывалась методика оценки долговременного сейсмического режима на основе привлечения данных палеосейсмологических исследований. Были установлены периоды повторяемости сильных землетрясений для отдельных регионов с обнаруженными следами древних землетрясений. Так, для Северо-Западного Кавказа период повторяемости землетрясений с $M = 6.5-7.5$ оценен в 500–1500 лет [Рогожин, 2012]. Та же величина для района вулкана Эльбрус на Центральном Кавказе при $M = 6.5-7.0$ оценена в 1000–1900 лет. Для событий с этими магнитудами на Сахалине периодичность составляет от 1200 до 3200 лет. Для Алтая землетрясения с $M = 7$ повторяются через 1400 лет, а с $M = 7.5$ — через 2100 лет. На Корьякском нагорье период повторяемости событий с $M = 7$ — 1200–1500 лет.

Обобщение огромного сейсмотектонического материала приведено в монографии Е.А. Рогожина «Очерки региональной сейсмотектоники», опубликованной в 2012 г. Без преувеличения можно сказать, что работа содержит энциклопедические сведения о состоянии

сейсмотектоники на тот период. Наряду с положениями о геодинамической природе сейсмичности, иерархии сейсмогенерирующих структур — от границ литосферных плит до конкретных геологических тел: активных разломов, дизъюнктивных узлов, складчато-разрывных и флексурно-разрывных зон, сейсмогенных блоков земной коры, географическом распределении сейсмоактивных зон излагаются основные методы сейсмотектонических исследований, в том числе палеосейсмогеологических, и их использование при оценке долговременного сейсмического режима.

Особое внимание уделено сильным землетрясениям в пределах бывш. СССР и постсоветской Российской Федерации, а также в ряде других стран с акцентом на геологические, сейсмологические и геофизические проявления. В монографии приводятся исчерпывающие на тот момент сведения о более 20 сильных землетрясениях, очаги которых рассматриваются в контексте соответствующих геодинамических обстановок. Кроме того приводится описание ряда наиболее важных исторических сильных землетрясений: Ашхабадского 1948 г., Гоби-Алтайского 1957 г., Могодского 1968 г., Венчуанского 2008 г. В результате наглядно показан индивидуальный «портрет» каждого чудовищного катаклизма, избравшего свой путь для разрыва поверхности Земли и не считающегося с любыми формами рельефа.

Сейсмичность в работе рассматривается как особая форма современных тектонических движений, будучи одним из аспектов современной геодинамики. Именно разнообразие современных геодинамических режимов определяет строение сейсмического очага на поверхности и в недрах, а также направление и величину сейсмогенной подвижки в каждой крупной геодинамической области. В соответствии с этим каждое исследованное землетрясение рассматривается в породившей его природной среде. Приводится характеристика основных геодинамических областей Евразии, с которыми связаны сильные землетрясения XX и XXI веков.

В подвижной системе Средиземноморского альпийского пояса выделяется Центральный Атлас на севере Африки (Эль-Аснамское землетрясение 10 октября 1980 г. и землетрясение Константине 27 октября 1985 г. в Алжире), Кавказский регион (Спитакское землетрясение 1988 г. в Армении, Рачинское землетрясение 1991 г. в Грузии, Каспийские землетрясения в Азербайджане 25.11.2000 г., Курчалойское землетрясение 2008 г. в Чечне и др.), Южно-Туркменский

регион (Ашхабадское землетрясение 1948 г., Кумдагское землетрясение 1983 г., Бурунское землетрясение 1984 г., Балханское землетрясение в Туркмении 6.12.2000 г.), Центральный Загрос (Ахрамское 24 сентября 1999 г. и Каребасское 6 мая 1999 г. землетрясения). К подвижной системе Центрально-Азиатского эпипалеозойского орогенного пояса относятся землетрясения Алтае-Саянской области (Зайсанское землетрясение 1990 г., Алтайское (Чуйское) землетрясение 2003 г. на Горном Алтае, Фуюньское (Монголо-Алтайское) землетрясение 1931 г. на Монгольском Алтае и Могодское землетрясение 1967 г. в Центральной Монголии) и Тянь-Шаня (Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. в Западном Узбекистане, Кайраккумское землетрясение 13 октября 1985 г. в Северном Таджикистане и Суусамырское землетрясение 1992 г. в Киргизии). На активной континентальной окраине Северной Евразии произошли Шикотанское землетрясение 1994 г. на Южных Курилах, Кроноцкое землетрясение 1997 г. на Восточной Камчатке, Олюторское землетрясение 2006 г. в Корякии, Симуширское землетрясение 15 ноября 2006 г. на Средних Курилах и землетрясение Тохоку 2011 г. в Японии. С Восточно-Европейской платформой связаны Никольское землетрясение 31 марта 2000 г. и Калининградские землетрясения 2004 г.

Среди основных итогов анализа столь обширного материала хотелось бы особенно акцентировать следующие.

По результатам палеосейсмогеологических исследований установлены древние землетрясения на Алтае и Кавказе на протяжении голоцена (т.е. за последние 10 тыс. лет). Эти данные вместе с данными о землетрясениях инструментального и исторического периодов использованы для оценки долговременного сейсмического режима этих регионов. Построенные с их учетом графики повторяемости свидетельствуют в пользу устойчивого сейсмического режима на позднечетвертичном этапе геологической истории при некоторых его различиях для Кавказа и других регионов Азии в голоцене, обусловленных геодинамической спецификой этих регионов.

Фундаментальное и важнейшее прикладное значение имеет положение о том, что «очаги сильных и сильнейших землетрясений представляют собой устойчивые структуры в геологической среде; их положение обусловлено особым сочетанием геолого-геофизических условий. Сейсмические толчки время от времени повторяются в одних и тех же очагах, причем кинематика сейсмогенерирующей подвижки от землетрясения к землетрясению может изменяться.

Средний период повторения этих толчков в основном зависит от геолого-тектонической позиции очаговых зон: в подвижных системах альпийского (Средиземноморского и Тихоокеанского) пояса он составляет несколько сотен лет, в альпийских срединных массивах и эпипалеозойских орогенах — несколько тысяч лет, а на молодых (и, по-видимому, на древних) платформах — несколько десятков тыс. лет» [Рогожин, 2012. С. 321].

Принципиальные выводы сделаны по вопросу о различных механизмах очагов на Тихоокеанской окраине Евразии, где на материковом склоне Курило-Камчатской дуги выделены очаги межплитного (Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 г., $M = 7.9$) и внутриплитного (Шикотанское землетрясение 4 октября 1994 г., $M = 8.4$) типов с принципиально различной кинематикой подвижек, что ставит под сомнение наличие единой субдукционной геодинамической модели этой ключевой зоны в рамках плитной тектоники.

В результате анализа и обобщения материалов по строению очагов сильных землетрясений в различных геодинамических обстановках Е.А. Рогожину удалось, можно сказать, завершить существовавшую длительное время дискуссию о структурной принадлежности очага. Он убедительно продемонстрировал, что существовавшие прежде точки зрения не противоречат, но дополняют друг друга, а определяет характер очага энергия (магнитуда) землетрясения. В природе существуют и простые сейсмические очаги, связанные с отдельными разломами (Кумдагский очаг), и очаги, приуроченные к местам сочленения или пересечения крупных разломов, т.е. к дизъюнктивным узлам (Спитакский, Рачинский, Нефтегорский, Суусамырский очаги), и, наконец, объемные очаги в случае возникновения серий сильных землетрясений (очаги Газлийского высокомагнитудного роя, Симуширских землетрясений и землетрясения Тохоку). К этому ряду дополнением служит еще сложная структура очагов в верхней части зоны Заварицкого—Беньофа на Тихоокеанской окраине Евразии, которые относят к межплитному или внутриплитному типу.

Кроме того, важнейшее практическое значение изучения очагов сильных землетрясений вместе с привлечением обширного геолого-геофизического материала заключается в переоценке сейсмической опасности некоторых регионов (Кавказа в первую очередь), что позволило внести существенные коррективы в действующую карту сейсмического районирования (ОСР-97).

В 2006 г. в рамках федеральной целевой программы (ФЦП) «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года» (Приложение № 2, п. 23) в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 6 января 2006 г. № 1 и решением Ученого совета Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН от 8 февраля 2006 г. создается Координационно-прогностический центр с целью концентрации и координации прогностических исследований, позднее ставший VII отделением института. Руководителем центра и входящей в его состав лаборатории методов прогноза землетрясений назначен Е.А. Рогожин. Так начался третий период научной биографии ученого.

В этот период его деятельности сейсмотектоника и сейсмология занимались решением отдельных, не связанных между собой задач. Сейсмотектонические результаты позволяли выделять зоны возможных землетрясений (ВОЗ) и в их пределах потенциальные очаги землетрясений (ПОЗ), т.е. решали проблему места будущего сейсмического толчка. В сейсмологии накопился огромный материал по разновременным предвестникам землетрясений, использование которого для прогноза времени сейсмического толчка на практике оказывалось трудно применимым.

Под руководством Е.А. Рогожина была разработана методология прогноза землетрясений на основании комплексирования статических и динамических характеристик сейсмического процесса, вытекающих из анализа результатов сейсмотектонических и сейсмологических исследований. Тем самым объединялись долгое время остававшиеся разрозненными задачи прогноза землетрясений, т.е. места и времени сейсмического события. В этом подходе по результатам сейсмотектонических исследований проводится сейсмическое районирование территории, оценивается ее сейсмический потенциал и выделяются потенциальные очаги землетрясений. По сейсмологическим данным изучается динамика сейсмического процесса, прослеживаемая в очагах потенциальных землетрясений, где подготовка сильного сейсмического толчка происходит в несколько стадий с характерными для каждой из них предвестниками.

Оценка эффективности и информативности предвестников землетрясений показала, что наиболее информативными представляются сейсмологические предвестники (сейсмический режим, выявление «сейсмических брешей», активизация и особенности

форшоковой серии, характер напряженного состояния по кинематике очагов и распределение осей сжатия глубокофокусных форшоков, спектральный состав колебаний. Как весьма эффективное рассматривается также пространственное распределение скоростей (GPS). Идентифицируя предвестники, характерные для разных стадий подготовки сейсмического очага, практически реализуется многоуровневый мониторинг процесса развития очаговой зоны для долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогноза сильных землетрясений. Опыт сближения обоих направлений на примере Курильских событий 2000-х годов предпринят Е.А. Рогожиным в монографии «Потенциальные сейсмические очаги и сейсмологические предвестники землетрясений — основа реального сейсмического прогноза» [Рогожин и др., 2011].

Руководство Координационно-прогностическим центром, а также участие и руководство в ряде экспертных советов и организаций стало для Е.А. Рогожина не только научно-организационной задачей, но и вывело его на государственный уровень ответственности за проводимые исследования. Получаемые в ИФЗ РАН результаты исследований с этих пор непосредственно используются Российским экспертным советом (РЭС) для составления ежеквартальных справок о вероятном развитии сейсмической обстановки на территории России, которые представляются в ФКУ Центр «Антистихия» МЧС России. Евгений Александрович становится аккредитованным экспертом научно-технической сферы Министерства образования и науки Российской Федерации. Более того, его научный и организаторский авторитет способствовал привлечению его к составлению нормативных документов по оценке сейсмической опасности территории страны, используемых при проектировании и строительстве. Одним из них стала карта общего сейсмического районирования Российской Федерации (ОСР-2015), вызвавшая неоднозначную реакцию сейсмологического сообщества.

Рогожин стал также президентом Некоммерческого партнерства «Национальное объединение организаций по инженерным изысканиям, геологии и геотехнике» (НП «СРО «Инжгеотех»). Под его руководством и с участием докторов физико-математических наук А.С. Алешина и Ф.Ф. Аптикаева, кандидатов физико-математических наук А.И. Лутикова и О.И. Эртелевой, кандидата геолого-минералогических наук А.Н. Овсяченко разработан Свод правил «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила де-

тального сейсмического районирования», о котором он доложил на 3-м Всероссийском съезде ассоциации «Национальное объединение изыскателей и проектировщиков» 28 апреля 2016 г. В докладе была изложена методика проведения изыскательских работ и результаты ее применения на примерах Ставропольского края, Северного Кавказа и Калининграда, существенно изменивших картину распределения сейсмичности по сравнению с общими картами сейсмического районирования. «Строительная газета» от 11 мая 2016 г. поместила обширную информацию об этом ставшем резонансным выступлении Рогожина в материале «По соседству с эпицентром». Свод правил утвержден Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации в 2017 г. Е.А. Рогожин возглавлял Евразийскую ассоциацию по сейсмологии, сейсмостойкому строительству и защите от стихийных бедствий (ЕАСА), учрежденную в 2018 г.

Научная и организационная деятельность Е.А. Рогожина высоко оценена государством — он лауреат Государственной премии РФ (29 февраля) 2000 г. 26 декабря 2018 г. указом Президента России Евгению Александровичу Рогожину присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки».

Несмотря на колоссальную загруженность, круг собственно научных интересов Рогожина оставался чрезвычайно широким. За последнее десятилетие он принимал участие в подготовке множества статей на самые разнообразные темы, связанные с сейсмичностью, периодами ее активизаций, современной геодинамикой, анализом новых данных по актуальным сейсмическим событиям, разработкой археосейсмологического метода, соотношением сейсмичности и вулканизма на Кавказе, вопросами сейсмического мониторинга как крупных регионов (Арктика), так и промышленных сооружений и др.

Особо хотелось бы отметить работы Е.А. Рогожина по глубинному строению Кавказа, написанные после проведения там новых геофизических работ, показавших наличие в недрах Кавказа огромного аномального мантийного тела, что актуализировало представления В.В. Белоусова о процессах адвекции под орогенами [Рогожин и др., 2015 и др.]. В связи с этим вспоминается, как с некоторой ностальгией он неоднократно говорил в последние годы о своем желании вернуться к материалам по складчатости Тянь-Шаня, большая часть которых осталась неиспользованной в дальнейшей его деятель-

ности. Сотрудники его лаборатории намерены систематизировать этот материал, разбросанный по разным комнатам отдела VII в виде огромных рулонов со сложнейшими, виртуозно выполненными разрезами складчатых зон, и придать ему современный цифровой вид.

Жизнь Е.А. Рогожина оборвалась внезапно 6 апреля 2021 г. Остались недописанные статьи, нерешенные вопросы, безутешные аспиранты и соискатели. Но вместе с тем осталось его огромное научное наследие, входящее в золотой фонд геологической классики, к которому будут еще долгое время обращаться специалисты разных направлений в сейсмологии и геодинамике. Кроме того, осталась сеймотектоническая научная школа, выпестованная им в процессе преподавательской и практической исследовательской работы, объединяющая как отечественных, так и зарубежных молодых ученых (С. Платонова, А. Овсяченко, С. Родина, А. Ларьков и др.). Защитившие диссертации под его руководством и просто работавшие с ним молодые специалисты стали самостоятельными высококвалифицированными сеймотектонистами, широко востребованными при проведении важнейших ответственных исследований по оценке сейсмической опасности страны.

В свою очередь, Е.А. Рогожин — достойный представитель геологической школы Московского университета, более 200 лет создававшей фундамент отечественной геологической науки, унаследовавший и продолживший ее лучшие традиции.

ЛИТЕРАТУРА

- Айзенберг Я.М., Рогожин Е.А., Смирнов В.И. Актуализированные нормы проектирования «Строительство в сейсмических районах. СНиП II-7-81*». Утверждены и введены в действие Постановлением Правительства РФ с 1 июля 2015 года; на очереди взаимная адаптация инженерных и сейсмологических положений норм.// Материалы XI Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием). М.: WWW.11rnsee.ru, 2015. С. 8–14.
- Белоусов В.В. Проблема происхождения складчатости (вступительные замечания) // Складчатые деформации земной коры, их типы и механизм образования. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 3–8.
- Лаверов Н.П., Осипов В.И., Макоско А.А. <...> Рогожин Е.А. и др. Предложения по эколого-экономическому обоснованию нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан (варианты вне водосборной площади озера Байкал) // Проблемы национальной безопасности. Экспертные заключения. Аналитические материалы. Предложения / Под общ. ред. академика Н.П. Лаверова. М.: Наука, 2008. С. 9–49.
- Леонов Ю.Г. О пользе общих соображений при решении вопроса о происхождении складчатости (по поводу статьи Е.А. Рогожина и В.Н. Шолпо «Неоднородность зоны полной складчатости Большого Кавказа») // Геотектоника. 1989. № 6. С. 117–119.
- Захарова А.И., Рогожин Е.А. Глубокофокусные предвестники сильных землетрясений // ДАН. 2001. Т. 381, № 6. С. 825–826.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Гаджиев М.С., Ларьков А.С., Рогожин Е.А. О сейсмотектонической деформации раннесредневековой крепостной стены г. Дербент (Дагестан) // ДАН. 2020. Т. 493, № 1. С. 1–5
- Рогожин Е.А. Структурная зональность западной части Туркестанского хребта и гор Мальгузар (Южный Тянь-Шань) и палеозойская история ее формирования: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1974.
- Рогожин Е.А. Палеозойская тектоника западной части Туркестанского хребта. М.: «Наука», 1977. 98 с.
- Рогожин Е.А., Яковлев Ф.Л. Опыт количественной оценки морфологии складчатости Тфанской зоны Большого Кавказа // Геотектоника. 1983. № 3. С. 87–98.
- Рогожин Е.А., Рейснер Г.И. Эль-Аснамское землетрясение в Алжире 10 октября 1980 г. // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 26. М.: Наука, 1985. С. 57–73

- Рогожин Е.А., Борисов Б.А. Сейсмодислокации в эпицентральных зонах землетрясений Западной Туркмении // Детальные инженерно-сейсмологические исследования. Вопросы инженерной сейсмологии. 1986. Вып. 27. С. 136–142.
- Рогожин Е.А. Морфологическая неоднородность полной складчатости как показатель механизма складкообразования // Строение и эволюция тектоносферы. М.: ИФЗ АН СССР, 1987. С. 107–133.
- Рогожин Е.А., Шолпо В.Н. Неоднородность полной складчатости Большого Кавказа // Геотектоника. 1988. № 3. С. 79–93.
- Рогожин Е.А. Неоднородность складчатых систем и механизм их образования (на примере Южного Тянь-Шаня и Большого Кавказа): Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М.: ИФЗ АН СССР, 1988. 40 с.
- Рогожин Е.А., Шолпо В.Н. Общие соображения и происхождение складчатости: Ответ Ю.Г. Леонову // Геотектоника. 1989. № 6. С. 119–121.
- Рогожин Е.А. Тектоника очаговых зон сильных внутриконтинентальных землетрясений на примере юга СССР и Западного Средиземноморья): Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М.: ИФЗ АН СССР, 1990. 44 с.
- Шолпо В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А. Складчатость Большого Кавказа. М.: Наука, 1993. 192 с.
- Рогожин Е.А., Платонова С.Г. Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене. М.: ОИФЗ РАН, 2002. 120 с.
- Рогожин Е.А., Захарова А.И. Палеоземлетрясения и сейсмический режим Горного Алтая в голоцене // ДАН. 2003. Т. 388, № 6. С. 809–811.
- Рогожин Е.А., Гурбанов А.Г., Мараханов А.В., Овсяченко А.Н., Спиридонов А.В., Бурканов Е.Е. О соотношении проявлений вулканизма и землетрясений на Северном Кавказе в голоцене // Физика Земли. 2005. № 3. С. 33–46.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Ушанова Е.А. Тектоническая позиция и геологические проявления Алтайского землетрясения 2003 г. // Геотектоника. 2007. № 2. С. 3–23.
- Рогожин Е.А., Имаев В.С., Смекалин О.П., Шварц Д.П. Тектоническая позиция и геологические проявления Могодского землетрясения 5 января 1967 г. в Центральной Монголии (взгляд сорок лет спустя) // Физика земли. 2008, № 8. С.70–82.
- Рогожин Е.А. Реконструкция долговременного сейсмического режима с использованием палеосейсмогеологических данных// Экстремальные природные явления и катастрофы. Т. 1. Оценка и пути снижения не-

- гативных последствий экстремальных природных явлений. М.: ИФЗ РАН, 2010. С. 44–64.
- Рогожин Е.А. О проекте новой макросейсмической шкалы ЕЕЕ // Землетрясения Северной Евразии в 2003 году. Обнинск: ГС РАН, 2009. С. 396–402.
- Рогожин Е.А., Иогансон Л.И., Завьялов А.Д., Захаров В.С., Лутиков А.И., Славина Л.И., Рейснер Г.И., Юнга С.Л., Овсяченко А.Н., Новиков С.С. Потенциальные сейсмические очаги и сейсмологические предвестники землетрясений — основа реального сейсмического прогноза / Отв. ред. А.О. Глико. М.: ООО «Светоч Плюс», 2011. 368 с.
- Рогожин Е.А., Капустян Н.К., Антоновская Г.А., Акбиев Р.Т. Методология комплексного инженерно-сейсмологического мониторинга состояния конструкций зданий и сооружений, включая площадки их размещения // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2011. № 4. С. 33–41.
- Рогожин Е.А. Сейсмотектонические особенности Ахрамского землетрясения 24 сентября 1999 г. (Иран, Загрос) // Геотектоника. 2012а. № 5. С. 63–74.
- Рогожин Е.А. Очерки региональной сейсмотектоники. М.: ИФЗ РАН, 2012б. 340 с.
- Рогожин Е.А., Лутиков А.И., Овсяченко А.Н. Составление карты сейсмической опасности Северного Кавказа в детальном масштабе // Современные проблемы геологии, географии и геоэкологии: Материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 150-летию со дня рождения В.И. Вернадского, г. Грозный, 25–28 марта 2013 г. Махачкала: Алеф, 2013. С. 90–93.
- Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Овсяченко А.Н., Андреева Н.В., Харазова Ю.В. Структура и современная геодинамика мегантиклинория Большого Кавказа в свете новых данных о глубинном строении // Геотектоника. 2015. № 2. С. 36–49.
- Рогожин Е.А. По соседству с эпицентром // Строит. газета. 11 мая 2016 г.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Рузайкин А.И., Донцова Г.Ю., Сысолин А.И. Корякское землетрясение — пример успешно спрогнозированного сейсмического события // Вопросы инженерной сейсмологии. 2020. Т. 47, № 3. С. 92–103.
- Татевосян Р.Э., Рогожин Е.А., Гваррери Л. и др. Эффекты землетрясения в природной среде (ЕЕЕ) и оценка интенсивности: проект шкалы INQUA // Исследования по сейсмотектонике и современной геодинамике. М.: ИФЗ РАН, 2006. С. 149–168.

- Хаин В.Е. Некоторые замечания к статье Е.А. Рогожина и В.Н. Шолпо «Неоднородность полной складчатости Большого Кавказа» // Геотектоника. 1988. № 3. С. 79–93.
- Michetti A.M., Esposito D., <...> Rogozhin E.A. et al. An innovative approach for assessing earthquake intensities based on seismically-induced ground effects in natural environment. Roma. 2004. 116 p. (Carta Geol. D'Italia. V. LXYII (Spec. Paper)).
- Audemard F., Azuma T., Baiocco F., Baize S., Blumetti A.M., Brustia E., Clague J., Commerci V., Esposito E., Guerrieri L., Gulpinar A., Grützner C., Jin K., Kim Y.S., Kopsachilis V., Lucarini M., Mccalpin J., Michetti A.M. , Mohammadioun B., Morner N.A., Okumura K., Ota Y., Papathanassiou G., Pavlides S., Perez López R., Porfido S., Reicherter K., Rodríguez Pascua M.A., Rogozhin E., Scaramella A., Serva L., Silva P.G., Sintubin M., Tatevossian R. & Vittori E. Earthquake Environmental effect for seismic hazard assessment: the ESI intensity scale and the EEE catalogue // Memorie Descrittive Della Carta Geologica D'Italia A.T. I. – SYSTEMCART srl – S.EL.CA. srl 2015. 182 p.

А.Н. Овсяченко

**ВКЛАД Е.А. РОГОЖИНА В ИЗУЧЕНИЕ
СЕЙСМОТЕКТОНИКИ, ГЕОДИНАМИКИ
И СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ
(НА ПРИМЕРЕ КАВКАЗА)**

Личным качествам и основным вехам научного пути Евгения Александровича Рогожина посвящено много строк настоящего сборника. Добавлю, что мне выпала честь работать под началом Человека с большой буквы, который, занимая множество ответственных должностей, руководствовался в своих решениях Вечными Ценностями, никогда об этом не упоминая. Такое отношение объединило вокруг него огромное количество соратников и, как следствие, — проявилось во множестве результатов, в новых подходах, методах, идеях и целях. Наиболее полно и последовательно все основные направления исследований с участием и под руководством Е.А. Рогожина реализованы при изучении сейсмичности Кавказа.

Очерк посвящен той части научного пути Е.А. Рогожина, с которой автор знаком «не понаслышке». Евгений Александрович воплотил идею исследований складчатости всего Большого Кавказа с использованием количественных методов для разработки геодинамической модели региона и принципиально новых методов тектонического картирования, строил глубинные геологические разрезы через всю горную систему по геофизическим данным, позже сам неоднократно целенаправленно организовывал такие исследования, занимался изучением следов палеоземлетрясений, активными разломами, проводил детальные сейсмотектонические, палеосейсмологические и дистанционные исследования очагов современных землетрясений, занимался обобщением сейсмологических, геофизических, геодезических и других данных о строении очагов этих событий, интерпретацией данных спутниковой геодезии в задачах современной геодинамики, картированием сейсмической опасности и детальным сейсмическим районированием отдельных регионов, а в итоге и всего Северного Кавказа.

Учитывая чрезвычайную глубину современной специализации каждого из указанных научных направлений, перечисленный круг задач впечатляет. Достаточно взглянуть на список опубликованных работ, приведенный в конце очерка. Он показывает последовательное продвижение в решении сначала фундаментальных, а затем и жизненно важных вопросов с поступательным расширением интересов и применением новых методов из самых разных областей фундаментальной науки. Другая отличительная особенность — весьма плодотворное сотрудничество с большим количеством специалистов разного профиля из разных стран и городов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СКЛАДЧАТОСТИ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Изучение Кавказа проводилось Е.А. Рогожиным с конца 1970-х гг., т.е. на протяжении более 40 лет! Началось оно с полевых структурно-геологических исследований, методика проведения которых была освоена им ранее на Южном Тянь-Шане (кандидатская диссертация 1974 г. и книга 1977 г. «Палеозойская тектоника западной части Туркестанского хребта»). Эти исследования привели к разработке формализованного метода количественной оценки морфологической сложности складчатости [Рогожин, Яковлев, 1983]. Материалом послужили детальные структурно-геологические разрезы вкрест простирания структур Восточного [Рогожин, Яковлев, 1983], а затем Западного [Видяпин и др., 1985, 1986; Рогожин, 1986] и Центрального [Рогожин, Шолто, 1988, 1989] Кавказа (рис. 1, 2). В итоге весь Большой Кавказ был равномерно покрыт десятками (!) детальных поперечных структурно-геологических пересечений [Шолто и др., 1993]. В отображении внутренней структуры складчатой системы составленные в те годы разрезы являются наиболее достоверными. Методика построения, основанная на прямых наблюдениях и полевых замерах, отличает их от концептуальных профилей, на которых иллюстрируются теоретические представления того или иного автора, или стандартных разрезов к серийным геологическим картам, отражающих лишь самые общие черты тектонического устройства.

Методика количественной оценки морфологической сложности складчатости основана на семи структурных признаках для сравнительно однородных (по форме отдельных складок) и соразмерных

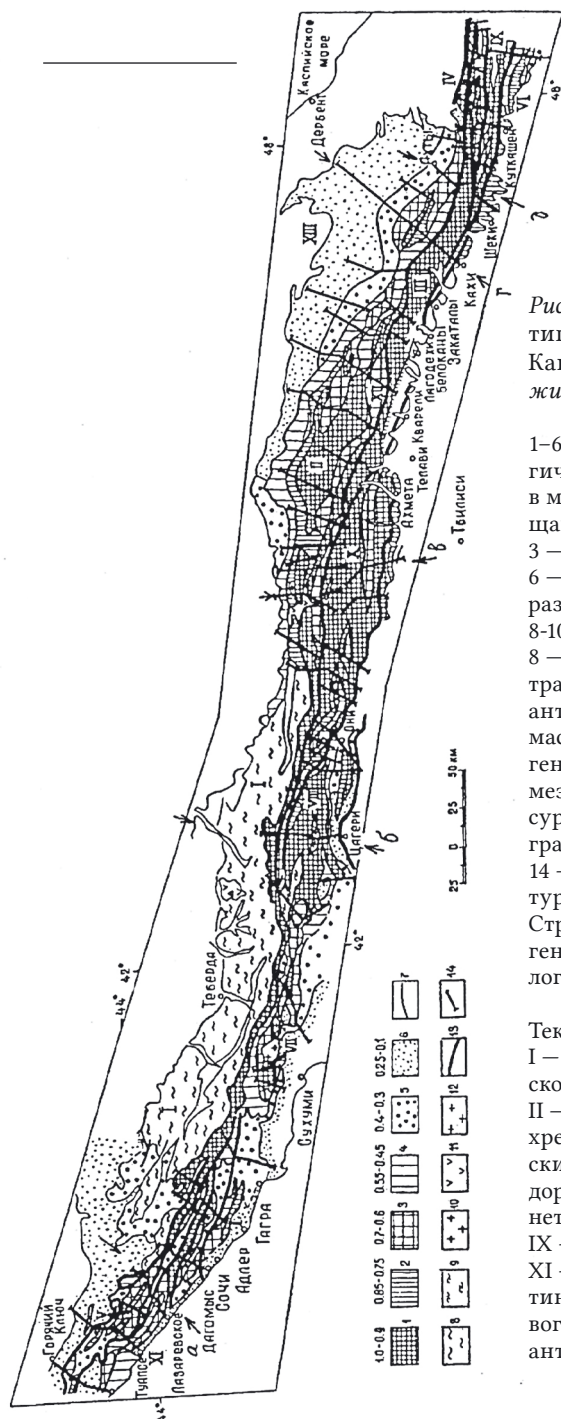
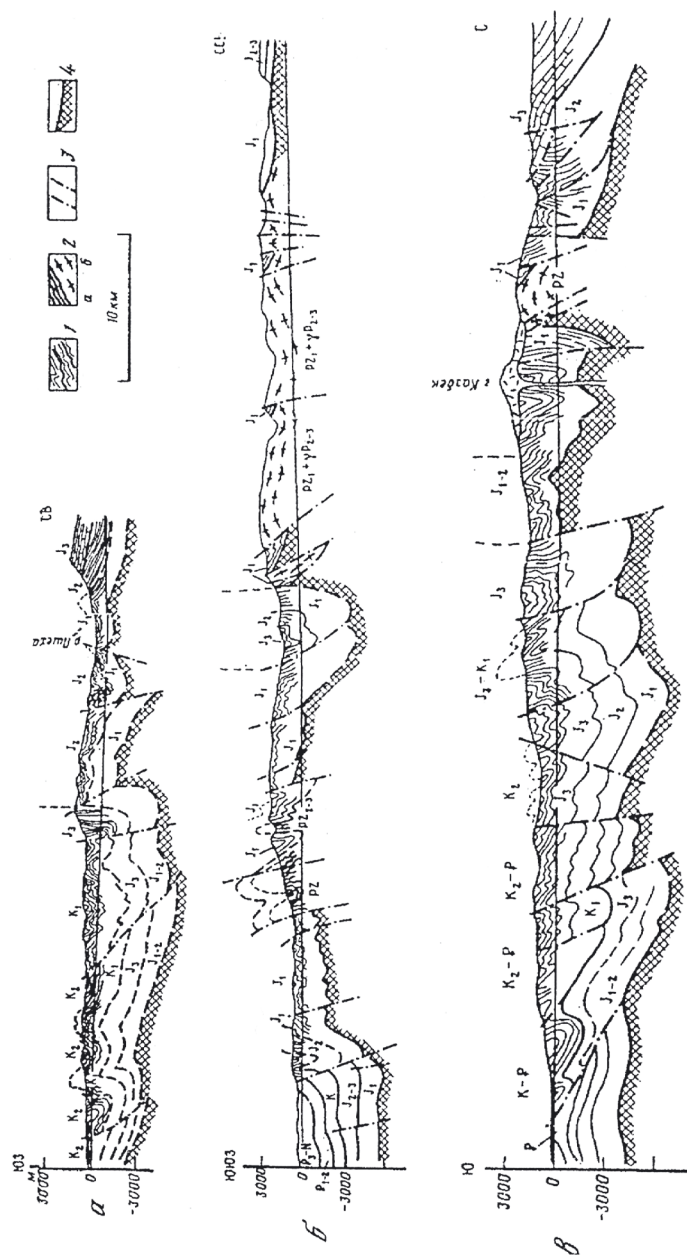


Рис. 1. Карта морфологических типов складчатости Большого Кавказа (по [Шолпо и др., 1993; Рогожин и др., 2001a])

1–6 – градации степени морфологической сложности складчатости в мезозойских и кайнозойских толщах (м. с.): 1 – 1.0–0.9; 2 – 0.85–0.75; 3 – 0.7–0.6; 4 – 0.55–0.45; 5 – 0.4–0.3; 6 – 0.25–0.1; 7 – границы зон с разной морфологией складчатости; 8–10 – домезозойские образования: 8 – кристаллического ядра Центрального Кавказа; 9 – Сванетского антиклинория; 10 – Дарьяльского массива (гранитоиды); 11 – неоген–четвертичные вулканисты; 12 – мезозойские гранитоиды (Келасурский массив); 13 – разломы на границах структурных зон; 14 – линии использованных структурно–геологических разрезов. Стрелками показано положение генерализованных структурно–геологических разрезов (см. рис. 2).

Тектонические подразделения:
I — домезозойское кристаллическое ядро; II—VIII — антиклинории; II — Бовогого хребта; III — Главного хребта; IV — Тфанский; V — Гойтхский; VI — Вандамский; VII — Кодоро-Гумистинский; VIII — Сванетский; IX—XII — синклинии; IX — Ковдагский; X — Чиаурский; XI — Новороссийский, XII — Бежитинский, XIII — зона Известнякового Дагестана; XIV — Самурский антиклинорий



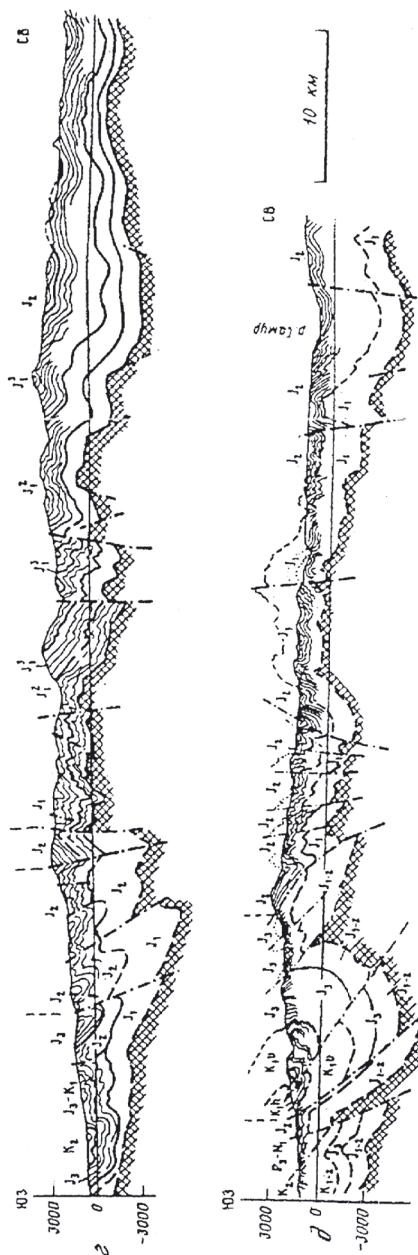


Рис. 2. Генерализованные структурно-геологические разрезы через Большой Кавказ [Рогожин и др., 2001а]

а — Северо-Западный Кавказ;
 б — Центральный Кавказ;
 в — по Военно-Грузинской дороге;
 г — Восточный Кавказ;
 д — Юго-Восточный Кавказ.
 1 — слоистость мезозойских и кайнозойских толщ; 2 — линейность в домезозойских толщах (а — Сванетского антиклинория; б — Центрального Кавказа); 3 — разломы; 4 — предполагаемое положение поверхности домезозойского фундамента

участков структурно-геологических разрезов: 1) величина углов при вершинах складок; 2) подобие формы антиклиналей и синклиналей, 3) наличие кливажа; 4) соотношение ширины крыльев и замка складок; 5) углы падения осевых поверхностей складок; 6) соотношение мелких и крупных складок; 7) наклон зеркала складчатости [Рогожин, Яковлев, 1983; Рогожин, 1988]. Набор признаков количественно определяет морфологию складок, а получаемые оценки дают степень приближенности к полному (или голоморфному в классификации В.В. Белоусова¹, который дал четкие признаки типов складчатости) типу складчатости, который характеризуется узкой сжатостью и линейностью с преобладанием изоклинальных и острых килевидных форм складок. Получаемые параметры дают возможность объективной оценки степени деформированности того или иного участка подвижной складчатой системы.

Метод имеет сразу несколько важных практических следствий. В первую очередь он дает возможность использовать четкие количественные критерии для проведения границ между тектоническими зонами и выводит картирование тектонических структур на принципиально новый уровень. Надо сказать, что в тектоническом картографировании этот недостаток не преодолен до сих пор — используемые наборы критериев для выделения тектонических подразделений всегда зависят от научных позиций авторского коллектива, т.е. составляемые карты субъективны. Е.А. Рогожиным метод количественного анализа морфологической сложности складчатости был использован при сейсмотектоническом районировании, о чем речь будет идти ниже.

А в те годы получаемые результаты служили основой для выяснения природы складкообразующих процессов, что являлось одной из основных задач возглавляемого В.В. Белоусовым отдела. Это был плод многолетней, весьма трудоемкой деятельности многих исследователей, среди которых — В.В. Белоусов, А.В. Вихерт, М.А. Гончаров, И.В. Кириллова, А.А. Сорский, Е.И. Паталаха, В.Н. Шолпо, Ф.Л. Яковлев и др. В качестве основного прямого свидетельства механизма образования складок рассматривалась их морфология, а применяемый подход дал возможность получать строгие количественные оценки, что позволило максимально избежать субъективности.

¹ Белоусов В.В. Основные вопросы геотектоники. Изд. 2-е. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 608 с.

На примере Большого Кавказа и Тянь-Шаня выяснилось, что рассматриваемая ранее как эталон равномерной и однородной полная линейная складчатость имеет существенные неоднородности. Было выдвинуто предположение о возможности формирования складчатости в условиях нагнетания прогретых масс осадочного материала в ядра крупных антиклинориев под действием объемной силы тяжести [Рогожин, 1986]. Полная складчатость, таким образом, формируется в результате внутренней активности толщ осадочных пород, а продольное сжатие является следствием неравномерного процесса нагнетания гравитационно неустойчивых пород в вышележащие толщи [Рогожин, 1987].

В полученной модели структура Большого Кавказа представлена отдельными, изолированными друг от друга, сложно устроенными антиклинорными участками интенсивных деформаций, кулисообразно подставляющими друг друга и разделенными синклинорными полосами, где развита значительно менее сложная складчатость [Рогожин, 1988]. Кулисообразное расположение участков повышенной интенсивности деформации внутри зоны полной складчатости позволило предположить, что нагнетание прогретых масс осадочного материала в осевой зоне Большого Кавказа может быть связано со сдвиговыми смещениями в доальпийском фундаменте по системе глубинных разломов [Рогожин, Шолпо, 1988, 1989].

В этих работах обрела фактические детали геодинамическая модель адвекции как основной причины складкообразования, ранее получившая воплощение в численных моделях М.А. Гончарова² и лабораторных опытах Х. Рамберга³ и др. В.В. Белоусов⁴ обозначил термином «адвекция» ограниченную конвекцию — перемещение более легкого материала земной коры вверх, а тяжелого вниз под действием силы тяжести, при котором происходят движения как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Масштабы и интенсивность адвективных движений определяются размерами и контрастностью неоднородностей, порождающих эти движения. В зависимости от положения вещества в адвекционной ячейке оно испытывает сжатие или растяжение в горизонтальном или вертикальном направлении.

² Гончаров М.А. Механизм геосинклинального складкообразования. М.: Недра, 1988. 264 с.

³ Рамберг Х. Сила тяжести и деформации в земной коре. М.: Недра, 1985. 399 с.

⁴ Белоусов В.В. Складчатость и основные типы тектонических деформаций // Бюл. МОИП, отд. геол. 1969. Вып. 4. С. 5–23.

Структура Большого Кавказа предстала как чрезвычайно сложная, но иерархически упорядоченная система [Шолпо и др. 1993]. Неоднородное, но закономерное распределение складчатых деформаций, выявленное на полуколичественной основе, послужило показателем модели термофлюидной адвекции, которая захватывает не только альпийский комплекс осадков, но и более жесткие породы фундамента (рис. 3). Эти породы оказываются способными не только быть вовлеченными в процесс адвекции, но образуют ядро протыкания внутри общей массы внедрившихся сланцевых толщ. Иницирующим является энергетический импульс из мантии, а процесс многоярусной адвекции представляет собой переработку и преобразование этой избыточной энергии. И в этой ситуации все комплексы пород ведут себя в соответствии со своими физико-механическими и реологическими свойствами.

Эти исследования развивались на фоне преобладания представлений о формировании полной складчатости в условиях продольного изгиба под действием внешних сил сжатия. С этих позиций складчатые системы выглядят как зоны скучивания материала под действием давления жестких инденторов в результате коллизии литосферных плит. Коллизионная модель с некоторыми усложнениями доминирует в умах исследователей (особенно зарубежных) до сих пор — она простая и доступна для всех. Тем не менее развивая идеи об иерархически упорядоченной сложности складчатых систем

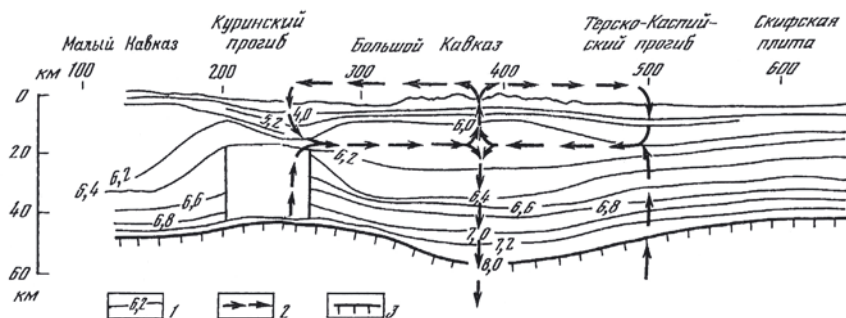


Рис. 3. Геолого-сейсмический разрез Большого Кавказа по профилю Волгоград—Нахичевань и схема адвективных движений (по [Шолпо и др., 1993])

1 — изолинии сейсмической скорости, км/с; 2 — направление перемещения вещества вдоль границ адвективных ячеек; 3 — граница Мохо

М.А. Гончаров⁵ обосновал идею многочисленности уровней тектогенеза, контролируемых несколькими уровнями тектонических напряжений: глобальным, межрегиональным, региональным и локальным. В каждом конкретном случае очень важно определить ранг явления и в соответствии с этим, опираясь на принципы непрерывности и компенсации, выявить всю систему сопряженных явлений и процессов. Очевидно, что тектонические напряжения на разных уровнях тектогенеза имеют и различную природу, а следовательно, различную интенсивность, глубину и формы реализации в горных массивах, что находится в прямых соотношениях с сейсмическим потенциалом и плотностью потока землетрясений. С появлением новых возможностей все это в будущем найдет применение в сейсмотектонических моделях, приближая их к реальному сейсмическому прогнозу.

В пылу тогдашних споров «мобилистов» с «фиксистами» также осталась в тени и реализация идеи применения количественных методов в тектонической картографии. Но исследования в этом направлении не прекратились — изучение механизма образования складчатости обретает строгие количественные формы в работах Ф.Л. Яковлева⁶. Использование количественного подхода к анализу неоднородности морфологической сложности структур в целях тектонического картирования еще ждет своего часа. Карту морфологических типов складчатости (см. рис. 1) можно рассматривать как опытный образец из недр фундаментальной науки. Ее главное отличие от традиционных тектонических карт заключается в возможности установления количественных связей тектонической структуры с другими параметрами, в первую очередь геофизическими.

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОТЕКТОНИКИ БОЛЬШОГО КАВКАЗА «ТРАДИЦИОННЫМИ» МЕТОДАМИ

«Традиционные» методы сейсмотектоники в общем виде основаны на сопоставлении разнообразных геолого-геофизических данных с зарегистрированной сейсмичностью. Первые такие иссле-

⁵ Гончаров М.А. Количественные соотношения геодинамических систем и геодинамических циклов разного ранга // Геотектоника. 2006. № 2. С. 3–23.

⁶ Яковлев Ф.Л. Многограновый деформационный анализ линейной складчатости на примере альпийского Большого Кавказа: Дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М.: ИФЗ РАН, 2015. 472 с.

дования в масштабе всего Кавказа были выполнены еще в 1930-х годах Л.А. Варданянцем⁷. А в 1970-х годах для целей Общего сейсмического районирования СССР (ОСР-78) была создана карта зон наиболее вероятного возникновения очагов землетрясений Кавказа⁸. На ней были выделены зоны с $M = 6.1-7.0$ без дифференциации по величине магнитуды. Уровень прогнозной сейсмической опасности считался умеренным (до 8 баллов). Тем самым был декларирован «потолок» сейсмического потенциала Большого Кавказа. Использование тектонических данных тогда, по сути, ограничивалось корректировкой трассирования сейсмогенерирующих структур, а сейсмический потенциал оценивался по данным сейсмостатистики. Между тем в конце 1970-х годов под руководством В.П. Солоненко и В.С. Хромовских⁹ была составлена карта сейсмогенных зон Большого Кавказа по палеосейсмогеологическим данным, на которой вдоль осевой зоны и южного склона выделена протяженная зона с прогнозной $M \approx 6.5-7.5$. Более того, в первой половине 1980-х годов А.А. Никоновым¹⁰ были проанализированы многочисленные историко-археологические источники и получены параметры катастрофического ($I_0 = 9.5 \pm 0.5$ баллов) землетрясения 1668 г. на Восточном Кавказе с $M = 8.0 \pm 0.5$. Таким образом, в вопросах сейсмотектоники Большого Кавказа назревали сильные противоречия.

Е.А. Рогожин принял участие в исследованиях сейсмотектоники Большого Кавказа в середине 1980-х годов уже имея богатый опыт изучения геологической обстановки современных сильных землетрясений: Черногорского 1979 г. ($M = 7.1$) в Югославии; Эль-Аснамского 1980 г. ($M = 7.3$) в Алжире; Кумдагского 1983 г. ($M = 5.7$) и Бурунского 1984 г. ($M = 6.0$) в Западной Туркмении; Газлийского 1984 г. ($M = 7.3$) в Западном Узбекистане и Кайраккумского 1985 г. ($M = 5.7$) в Северном Таджикистане. В то время стало очевидно, что множественность факторов, определяющих уровень сейсмической опасности, требует тщательного изучения геологической обстанов-

⁷ Варданянц Л.А. Сейсмотектоника Кавказа. М.: Изд-во АН СССР, 1935. 190 с.

⁸ Сейсмическое районирование территории СССР: Методические основы и региональное описание карты 1978 г. / Отв. ред. В.И. Бунэ, Г.П. Горшков. М.: Наука, 1980. 308 с.

⁹ Хромовских В.С., Солоненко В.П., Семенов Р.М., Жилкин В.М. Палеосейсмогеология Большого Кавказа. М.: Наука, 1979. 188 с.

¹⁰ Никонов А.А. Сильнейшее землетрясение Большого Кавказа 14 января 1668 года // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1982. № 9. С. 90–102.

ки в очаговых областях современных сильных землетрясений, т.е. изучения тех условий, которые в заведомо сейсмоактивных районах приводят к накоплению и разрядке тектонических напряжений [Рогожин и др., 1987]. Эта предпосылка стала чем-то вроде программы, реализуемой Е.А. Рогожиным на протяжении последующих лет, в том числе и на Кавказе.

Первые результаты обобщения материалов сейсмотектонического изучения перечисленных выше землетрясений Средиземноморского подвижного пояса, а также произошедших на Кавказе Дагестанского 1970 г. ($M = 6.6$.) и Чечено-Ингушского (Черногорского) 1976 г. ($M = 6.3$) землетрясений позволили сделать некоторые выводы [Рогожин и др., 1987]. Так, было выявлено, что наличие систем молодых диагональных или поперечных активных разломов у границ блоков земной коры, по-разному развивающихся на поздних этапах геологической истории (в особенности на границах горных сооружений с передовыми прогибами), обеспечивает возможность накопления напряжений и их разрядку в виде резких смещений при землетрясениях, причем по поверхностям некоторых стратиграфических горизонтов вероятно образование субгоризонтальных срывов. В ряде изученных регионов сейсмоактивные участки характеризуются устойчивой шириной (примерно 30–40 км), заключены между поперечными или диагональными активными разломами и вмещают очаги с $M = 5.5$ – 7.5 . Возникновение более сильных землетрясений в этих геологических условиях сочтено маловероятным.

В целях сейсмотектонического районирования во второй половине 1980-х годов Е.А. Рогожиным был использован метод количественной оценки морфологической сложности складчатости. Выделяемые таким образом тектонические зоны на южном склоне и в осевой зоне Восточного Кавказа были сопоставлены с рельефом, данными о новейших движениях на основании изучения речных террас и распределением эпицентров слабых землетрясений на площади и по глубине [Гасанов и др., 1987; Рогожин и др., 1988; Мамедов, Рогожин, 1989]. Позже аналогичными исследованиями был охвачен и Северо-Западный Кавказ [Рогожин и др., 1993в]. Максимальное скопление гипоцентров слабых и умеренных землетрясений зафиксировано на участках дизъюнктивных узлов сочленения крупнейших глубинных разломов, вытянутых вдоль простирания складчатой системы, с разломами поперечной ориентировки, разделяющими блоки с разным характером новейших вертикальных движений.

Представления о важной роли поперечных структур в контроле сейсмических проявлений на Кавказе к тому времени уже были обоснованы работами Р.А. Агамирзоева, И.В. Ананьина, Л.А. Варданянца, В.И. Бунэ, И.В. Кирилловой, Е.Е. Милановского, В.А. Растворовой, Г.И. Рейснера, А.А. Сорского, В.Н. Шолпо и др. С использованием метода количественной оценки морфологической сложности складчатости поперечные структуры были закартированы на полуколичественной основе. Было выдвинуто предположение, что структура поперечной зональности, сходная с рисунком будинированных слоев на региональном уровне, создана в условиях поперечного к простиранию складчатой системы сжатия [Рогожин и др., 1993в]. Это сжатие вызывает растяжение вдоль оси Большого Кавказа, направленное к областям погружения складчатой системы на северо-западе и юго-востоке, что в конечном счете обеспечивает продольное сейсмотектоническое течение в складчатой системе.

Позже обобщение данных о механизмах очагов землетрясений показало, что вне зависимости от того или иного подхода к интерпретации тектонической структуры Кавказа не вызывает сомнения, что формирование этой структуры связано в первую очередь с напряжениями субгоризонтального сжатия, ориентированными в общем вкрест ее простирания [Юнга, Рогожин, 2000]. Такие напряжения играют определяющую роль и на современном этапе развития.

Выявленные структурные неоднородности Большого Кавказа были сопоставлены с новейшим структурным планом [Рогожин и др., 2000; Рогожин и др., 2001а]. Зоны наиболее сложной складчатости, сосредоточенные в антиклинориях или на крыльях синклинориев, соотнесены с наиболее приподнятыми в новейшее время блоками земной коры. Установлена корреляция для поперечных зон более сложной и менее сложной складчатости, с одной стороны, и соответственно поперечных новейших поднятий и опусканий — с другой. Характерные размеры приподнятых и опущенных блоков, разделенных поперечными к простиранию складчатой системы разломами, обычно составляют 30–50 км, реже — 20 или 70 км. Полученные результаты были отражены на схеме и в дальнейшем использованы для сейсмотектонического районирования (рис. 4).

По всей видимости, для дальнейшего развития количественного подхода к картированию тектонических структур в целях тектонического районирования необходимо равномерное покрытие нескольких крупных сегментов Альпийско-Гималайского и

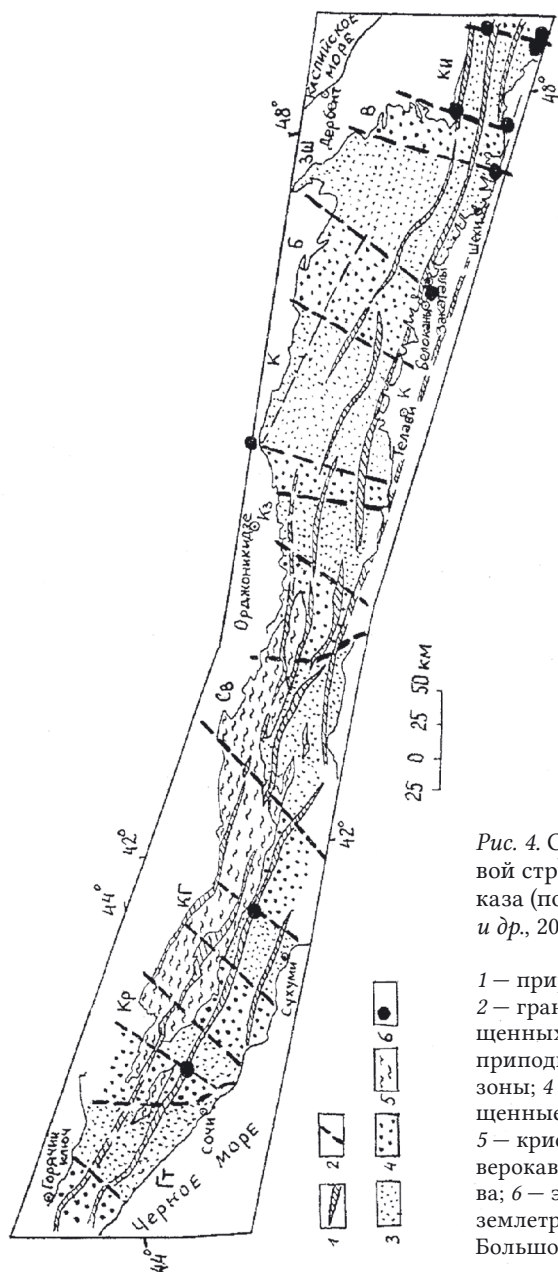


Рис. 4. Схема новейшей блоковой структуры Большого Кавказа (по [Рогожин, 1990; Рогожин и др., 2001а])

1 — приразломные прогибы;
2 — границы поднятых и опущенных зон; 3 — относительно приподнятые антикавказские зоны; 4 — относительно опущенные антикавказские зоны; 5 — кристаллические толщи Северокавказского краевого массива; 6 — эпицентры крупнейших землетрясений на территории Большого Кавказа

Центрально-Азиатского подвижных поясов, таких как Кавказ, Крым, Копетдаг, Тянь-Шань и прилегающие молодые платформы в целом. Но, произошедшие в 1988–1992 гг. сильные землетрясения на Кавказе и в Средней Азии, а затем в 1994–1995 гг. на Дальнем Востоке, привлекли основное внимание Е.А. Рогожина на всестороннее изучение их геологических проявлений. А с развалом СССР почти не стало и средств на проведение серьезных фундаментальных исследований.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОЧАГОВ СИЛЬНЫХ СОВРЕМЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАВКАЗА

Катастрофические Спитакское (1988 г., $M=6.9$, $I_0=10$ баллов) и Рачинское (1991 г., $M=7.0$, $I_0=8-9$ баллов) землетрясения в корне изменили представления об уровне сейсмической опасности Кавказа. Землетрясения произошли в пределах 7- и 8-балльных зон по карте ОСР-78, за пределами зон наиболее вероятного возникновения очагов землетрясений, что показало ошибочность районирования на том уровне. В методическом отношении исследование этих землетрясений имели необычайно широкий охват. Очаговые зоны землетрясений стали настоящими полигонами для применения и разработки самых разных методов исследования сейсмичности.

СПИТАКСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1988 г.

Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. по числу жертв (по официальным данным около 25 тыс. человек)¹¹ и разрушений на территории СССР сопоставимо только с Ашхабадской катастрофой 1948 г. Сразу же после Спитакского землетрясения, кроме сейсмологического изучения очаговой зоны, были выполнены аэрофотосъемка и повторное нивелирование, проведены разнообразные геофизические наблюдения и разноплановое геологическое обследование. Геологическое обследование эпицентральной зоны проводили ученые из разных стран и организаций: Б.М. Богачкин, Б.А. Борисов, А.С. Караханян, А.С. Кожурин, А.А. Никонов, Е.А. Рогожин, Л.Н. Рыбаков, Г.Л. Симонян, В.Г. Трифонов и др., а также А. Систернас, Э. Филип, Ж.-К. Буске (Франция), Р. Шарп (США), А. Рибейро (Португалия) и др.

¹¹ Сидорин А.Я. Спитакское землетрясение 1988 года и некоторые проблемы инженерной сейсмологии // Вопросы инженерной сейсмологии. 2018. Т. 45, № 4. С. 106–118.

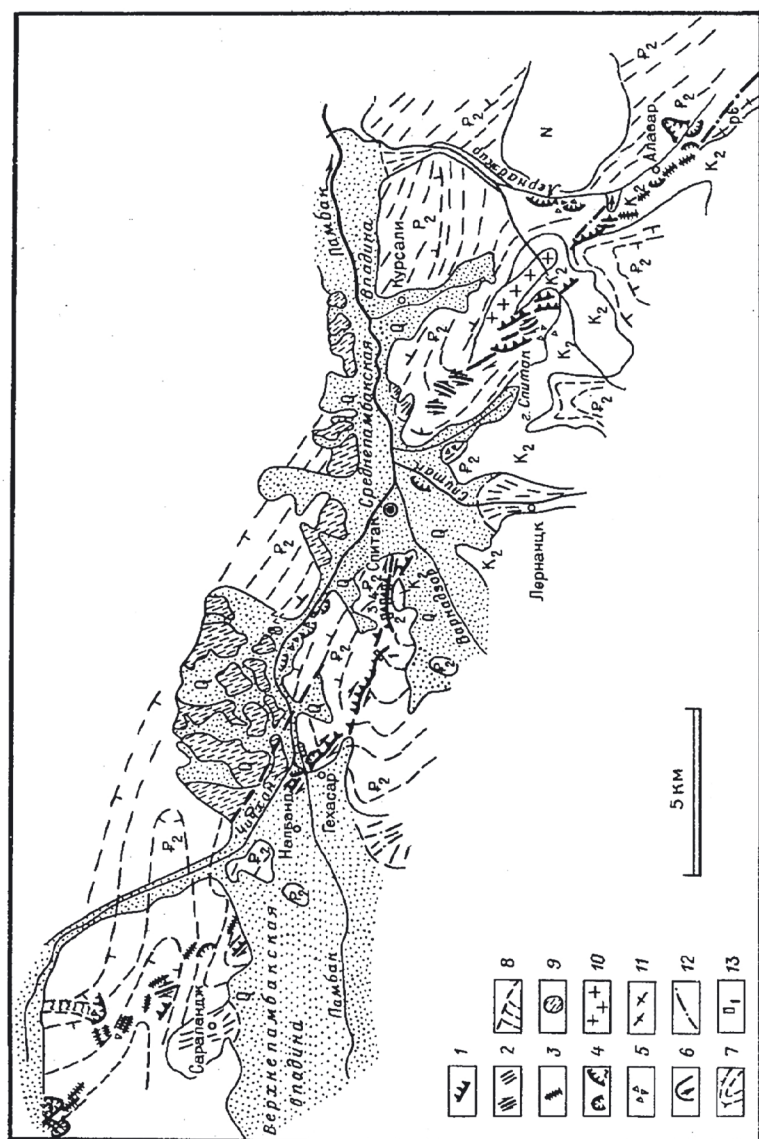
Очаг Спитакского землетрясения вспорол земную поверхность в виде протяженной системы сейсморазрывов общей длиной около 35 км, распадающейся на три сегмента длиной 8–9 км каждый [Борисов, Рогожин, 1989; Рогожин, Рыбаков, 1990; Рогожин и др., 1990а, 1991а]. Максимальные амплитуды правого сдвига – 1.8 м и вертикальной компоненты взброса – около 2 м зафиксированы в центральном сегменте. Также отмечены меридиональные левые сдвиги длиной в первые сотни метров. Вдоль сейсморазрывов были обнаружены протяженные (40–60 м) участки с обгоревшей растительностью, свидетельствующие о выходе и возгорании газов, вероятно, водорода или метана, в момент главного толчка. Ориентировка разрывов соответствует как направлению длинных осей высших изосейст, так и характеристикам механизма очага землетрясения – взбросо-сдвиг [Cisternas et al., 1989].

Система сейсморазрывов полностью укладывается внутри изосейст 9 и 10 баллов [Рогожин, Рыбаков, 1990; Рогожин и др., 1990а, 1991а]. Сейсмогравитационные нарушения (трещины встряхивания, растяжения и расседания склонов в их привершинных частях, оползни, обвалы, осыпи, просадки насыпных грунтов и т.п.) распространились на большую площадь, чем сейсмотектонические, и укладываются в изосейсту 8 баллов и более. Кроме сосредоточенных сейсмотектонических и сейсмогравитационных нарушений, повторной нивелировкой, проведенной ГУГК, были зафиксированы площадные сейсмотектонические деформации – обширное поднятие земной поверхности до 1.2 м, а также рост приразломных складок и опускание внутригорных впадин [Рогожин, Филип, 1991].

Анализ гипоцентров афтершоков и сейсмодислокаций показал, что очаг возник на глубинах 10–15 км в крупнейшем дизъюнктивном узле и имел сложное строение, разместившись в пределах двух крутопадающих в северных румбах глубинных разломных зон: широтной Памбак–Севанской и диагональной Алаварской, в районе узла их сочленения [Рогожин, Филип, 1991]. Кроме них был активизирован и субмеридиональный Арагац–Спитакский глубинный разлом. Таким образом, было установлено, что очаг состоял из нескольких сегментов. По сейсмологическим и геологическим данным было выделено пять близких по времени вспарывания сегментов очага [Philip et al., 1992].

Сейсморазрывы обнаружили приуроченность к структурным особенностям микрорельефа – в основном к седловинам, уступам водоразделов, тыловым швам нагорных террас, тальвегам и т.п., что наряду с деформациями речных террас свидетельствует

а



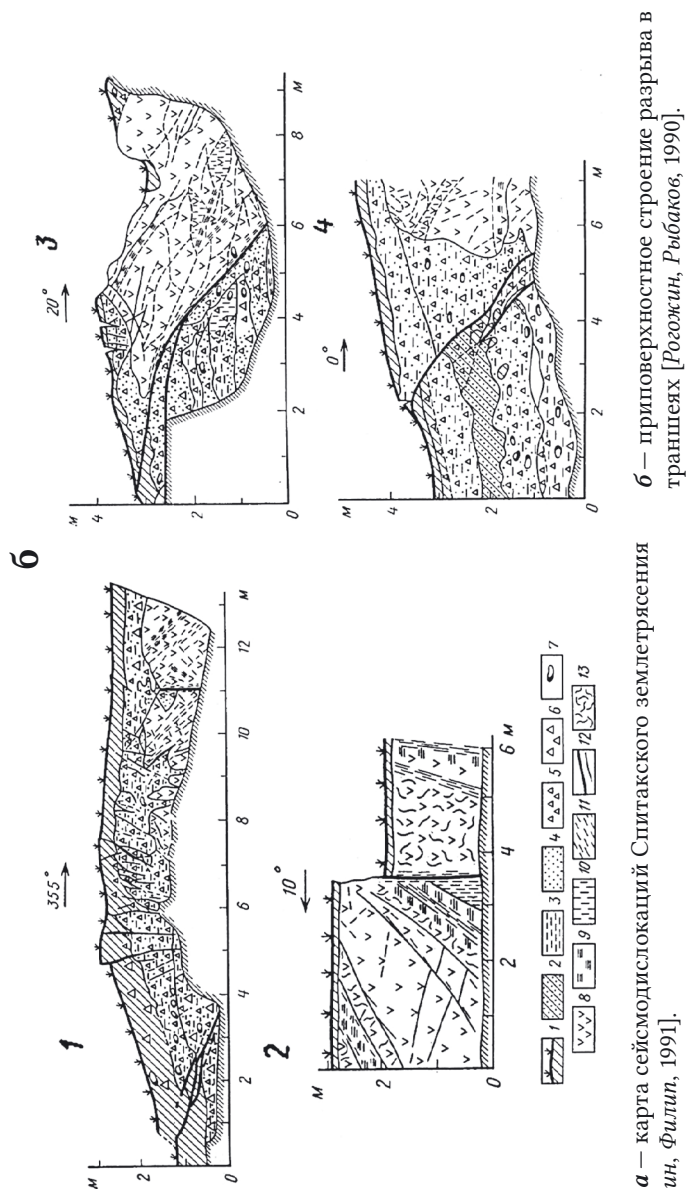


Рис. 5. **а** — карта сейсмодислокаций Спитакского землетрясения [Рогожин, Филип, 1991].

1-3 — сейсмические разрывы: 1 — взбросо-сдвиги; 2 — сдвиги; 3 — трещины встряски и растяжения; 4-6 — сейсмогравитационные нарушения: 4 — оползни; 5 — обвалы горных масс; 6 — сели, вызванные землетрясением; 7 — направления простирания и падения слоев в вулканогенно-осадочной толще эоцена; 8 — конусы выноса материала реками и временными водотоками; 9 — аномально поднятые плейстоценовые террасы; 10 — диориты; 11 — метаморфические толщи; 12 — разломы; 13 — траншеи и их номера

б — приповерхностное строение разрыва в траншеях [Рогожин, Рыбаков, 1990].

1 — дерн и современная почва; 2 — палеопочва; 3 — суглинок; 4 — песок; 5 — дрсва; 6 — щебень; 7 — крупные галька и валуны; 8 — вулканы палеогена; 9 — зоны дробления; 10 — зоны ожелезнения; 11 — мелкие трещины; 12 — сейсмический разрыв; 13 — сильно трещиноватые и раздробленные породы

о повторяемости смещений в одном и том же месте в позднечетвертичное время [Рогожин, Рыбаков, 1990].

Приповерхностное строение сейсмогенного разрыва исследовалось в специально пройденных траншеях [Албарède и др., 1990; Рогожин, Рыбаков, 1990; Рогожин и др., 1990б; Philip et al., 1992]. Это стало первым опытом применения метода тренчинга на Кавказе. Суть метода заключается в детальном изучении истории смещений по разлому в самых молодых отложениях, для чего используются естественные или искусственные обнажения и горные выработки. Надо сказать, строение современных сейсморазрывов в молодых отложениях ранее исследовалось Е.А. Рогожиным в Западной Туркмении, а в эпицентральной зоне Газлийских землетрясений 1975–1984 гг. с $M = 7.0\text{--}7.3$ им были изучены вторичные трещины, поскольку очаг не вышел на поверхность [Рогожин, 2000].

В результате обследования Спитакского сейсморазрыва в четырех специально пройденных траншеях удалось выяснить, что и ранее в этом же очаге возникали подобные или даже более сильные сейсмические события. В разрезе отложений были обнаружены палеопочвы с радиоуглеродным возрастом $17\,565 \pm 170$ и $24\,765 \pm 770$ лет, фиксирующие два древних разрывообразующих землетрясения [Албарède и др., 1990; Рогожин и др., 1990б; Philip et al., 1992]. Последнее перед Спитакским разрывообразующее землетрясение, вероятно, произошло 2000–3000 лет назад [Албарède и др., 1990]. Сейсморазрыв возник на месте активного разлома, смещения по которому имели тот же знак, что и смещения при землетрясении 1988 г., и импульсный характер и близкую относительную величину.

Эти результаты стали новой отправной точкой в исследованиях сейсмотектоники Кавказа — они убедительно показали, что потенциальные очаги сильных землетрясений могут быть обнаружены, датированы и параметризованы геологическими методами в целях оценки сейсмической опасности.

РАЧИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1991 г.

Спустя два с половиной года после Спитакского землетрясения, 29 апреля 1991 г. на Южном склоне Большого Кавказа произошло Рачинское землетрясение. Средства массовой информации сообщали о значительном числе погибших (более 100 человек) и огромном материальном ущербе [Рогожин и др., 1991б]. Магнитуда землетрясения

($M = 7.0$) оказалась самой высокой в сейсмической истории Кавказа на инструментальном этапе наблюдений. Эпицентральные сейсмологические наблюдения под руководством С.С. Арефьева были начаты уже 2 мая, а геологические — 10 мая и продолжались до 24 августа 1991 г., когда из-за разгоравшейся войны в Южной Осетии и коллапса СССР они были срочно свернуты. В геологическом обследовании эпицентральной зоны принимали участие И.В. Ананьин, В.Л. Барабанов, Т.П. Белоусов, Б.М. Богачкин, Б.А. Борисов, И.А. Веселов, О.И. Гущенко, К.И. Лисеев, Д.Л. Никитина, Е.А. Рогожин, М.Л. Сомин, В.П. Чичагов, Ф.Л. Яковлев, а также А. Систернас, Э. Филип (Франция), Р. Джибсон и К. Прентис (США) и др.

Одними из главных факторов, определившими материальные и людские потери, стали обвалы, разнообразные оползни (оползни-потоки и блок-оползни), каменные и грязекаменные лавины [Рогожин и др., 1991б; Богачкин и др., 1992]. Кроме них, в эпицентральной зоне образовались многочисленные оплывины, отседания склонов (эмбриональные оползни), срывы осыпей, грязевые и снежно-грязевые потоки (сели), вибрационные трещины, а также отмечались выбросы отдельных камней. Подобные явления имели место на Большом Кавказе и при Чхалтинском землетрясении 1963 г. ($M = 6.4$), но тогда они практически не были изучены.

Наиболее грандиозными явлениями стали каменные лавины, представляющие собой результат перемещения огромных объемов дезинтегрированных горных пород на значительное расстояние, гораздо дальше, чем в случае, если бы их перемещение было вызвано только силами гравитации [Богачкин, Рогожин, 1992]. Примечательно, что по сообщениям местных жителей глинистые оползни-потоки возникли спустя 2–3 дня после главного толчка, в результате которого на склонах появились лишь тонкие «эмбриональные» трещины [Рогожин и др., 1991б]. Такая задержка могла быть связана с изменениями состояния грунтовых вод, а небольшие косейсмические смещения активных оползней, вероятно, с вязкопластическим гашением сейсмических колебаний [Jibson et al, 1994]. На гребне хр. Хихата (южная ветвь Рачинского хребта) Т.П. Белоусовым были обнаружены сейсмогенные трещины, не связанные с гравитационными явлениями, которые могли отражать выход очага на поверхность¹². Здесь

¹² Белоусов Т.П. Рачинское землетрясение 1991 года и его проявление в рельефе Большого Кавказа. М.: Светоч Плюс, 2009. 208 с.

же наблюдались крупные известняковые глыбы, отброшенные на десятки метров [Рогожин и др., 1991б; Jibson et al., 1994]. Это явление свидетельствует о том, что локальные вертикальные ускорения превысили $1g$.

Таким образом, в эпицентральной зоне Рачинского землетрясения образовались преимущественно вторичные, сейсмогравитационные нарушения. Они возникли в огромном количестве — практически на всех подготовленных (подрезанных и подмытых) склонах. Поэтому при полевых наземных наблюдениях были закартированы далеко не все сейсмогенные остаточные нарушения. Полная картина их распространения была получена в результате изучения аэрокосмической информации: материалов аэрофотосъемки масштаба $1 : 17\,000$, выполненной через неделю после землетрясения, и космических снимков масштаба $1 : 270\,000$ (увеличенных до масштаба $1 : 25\,000$), сделанных до и после землетрясения [Богачкин и др., 1993а, 1993б] (рис. 6). Количество вторичных нарушений на единицу площади (на 25 км^2) было интерполировано в виде изолиний плотности вторичных сейсмодислокаций. По ним выделены пять участков сгущения вторичных сейсмодислокаций, которые в южной части эпицентральной зоны имеют кулисообразное расположение (рис. 7).

Сопоставление полученной карты плотности сейсмодислокаций со специально составленной картой глубины расчленения рельефа, геологией и тектоникой показало отсутствие прямых связей между ними. В то же время неоднородности распределения сейсмодислокаций хорошо соответствуют положению и неоднородностям облака афтершоков, зарегистрированных временной сетью полевых сейсмостанций [Рогожин и др., 1993б]. Исключение составляют западная и восточная окраины эпицентральной зоны, где поверхностные нарушения, а частично и последующие, более слабые землетрясения не были напрямую связаны с главным толчком. В западной части произошло обновление уже существовавших до землетрясения (по космоснимкам) обвалов, осыпей, оползней, которые, по всей видимости, возникли в соседнем очаге в результате последнего сильного землетрясения. На востоке эпицентральной зоны сейсмодислокации в значительной мере были связаны с обособленным в сеймотектоническом отношении Джавским землетрясением 15.06.1991 г. с $M = 6.2$, породившим собственные многочисленные афтершоки. Следует отметить, что к тому времени в Южной Осетии уже около полугода шла война и сейсмодислокации по этой причине были здесь изучены плохо.

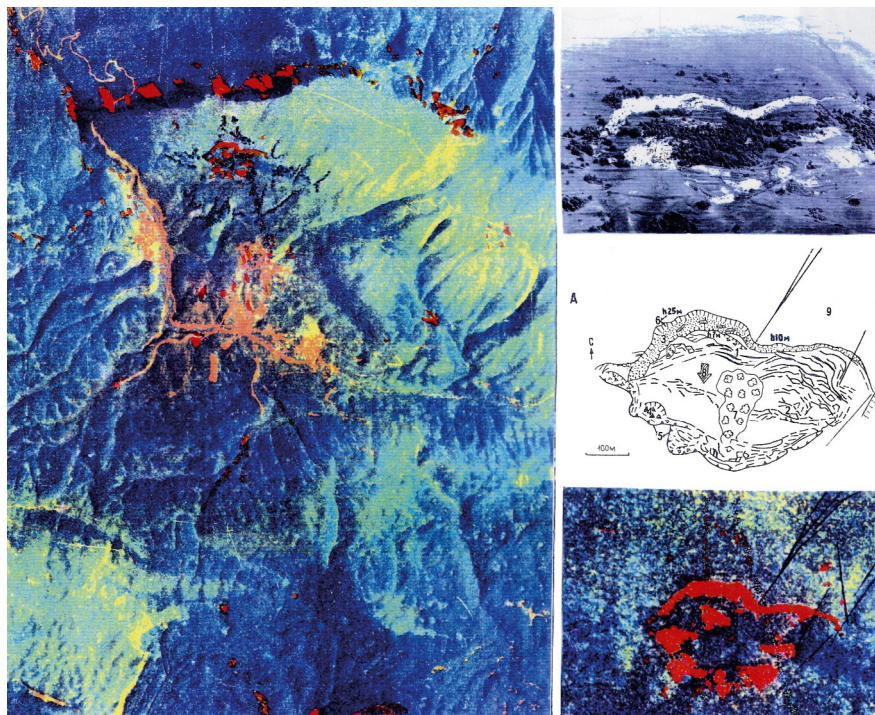


Рис. 6. Пример картирования вторичных нарушений в эпицентральной зоне Рачинского землетрясения [Атлас..., 1995]

Слева — увеличенный космический фотоснимок (после землетрясения), отражающий сейсмодислокации. Справа — оползень на южном склоне хребта Поцхреви в районе села Шкмери. Сверху вниз: фото, составленный на местности план и увеличенный фрагмент космического фотоснимка

Использованный подход позволил составить представление о внутренней структуре и размерах очага землетрясения путем пространственного анализа распределения вторичных деформаций и афтершоков. Длина очага по этим данным — 75–80 км при ширине (в близмеридиональном направлении) около 30 км.

Одна из главных особенностей Рачинского землетрясения — аномально низкая интенсивность сотрясений в эпицентральной зоне (8–9 баллов) при высокой магнитуде ($M = 7.0$) и малой глубине очага (5–10 км) [Рогожин и др., 1991б; Богачкин и др., 1992]. Было выдвинуто предположение, что причиной послужило вспарывание сейсмоген-

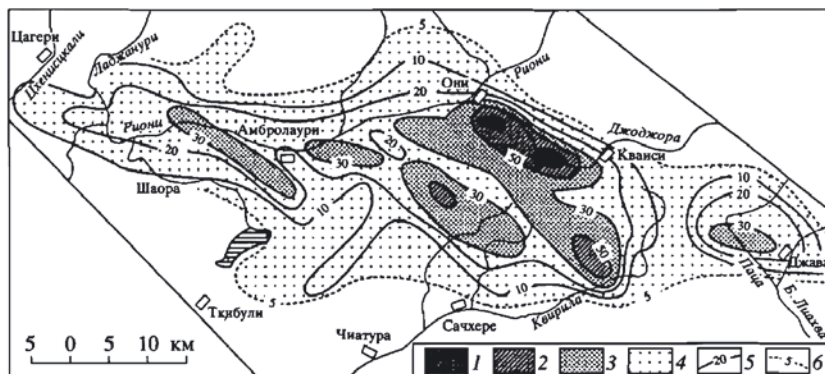


Рис. 7. Карта плотности распределения сейсмодислокаций [Богачкин и др., 1993а].

1–4 – площади с повышенной плотностью сейсмодислокаций (количество последних на 25 км²): 1 – >70, 2 – 70–50, 3 – 50–30, 4 – 30–5; 5, 6 – изолинии плотностей сейсмодислокаций: 5 – повышенных, 6 – фоновой

ными подвижками плоскостей облегченного скольжения, например по пластичным глинистым и гипсоносным слоям в основании осадочного чехла [Джибсон и др., 1993]. Главной тенденцией новейшего развития этой территории наряду с относительным воздыманием складчатой системы Южного склона является взаимное сближение ядра Центрального Кавказа и Дзирульского выступа, поддвижение пород фундамента Закавказского срединного массива под Большой Кавказ с последующим отрывом от основания и надвиганием в южном направлении пород альпийского чехла [Рогожин, Богачкин, 1993а]. Анализ распределения гипоцентров афтершоков Рачинского землетрясения показал постепенное пологое погружение их глубин с 10–15 до 21–37 км в северном направлении [Рогожин и др., 1993а]. Однако детальная карта разломно-блоковой новейшей тектоники эпицентральной зоны [Рогожин, Богачкин, 1993а] обнаружила слабое соответствие с неоднородностями поля афтершоков.

Контуры очага землетрясения на поверхности обрисовали поля сгущения афтершоков и остаточных нарушений. В обобщенном виде механизм очага представляет собой надвиг по весьма пологой плоскости (~32–35°) северо-западного простирания (азимут ~300°) [Рогожин и др., 1993а] (рис. 8). Пологим наклоном к северу основной плоскости смещения на глубинах 5–10 км адекватно объясняются

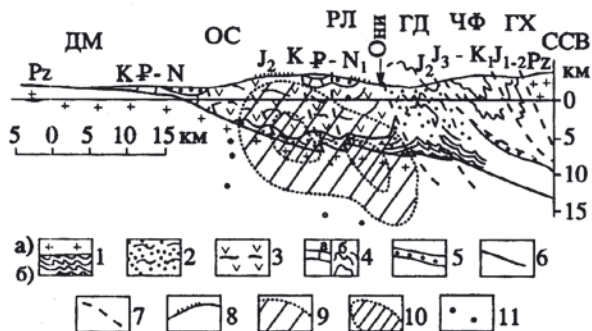


Рис. 8. Схематический геологический разрез через очаговую зону Рачинского землетрясения [Рогожин и др., 1993а]. Положение разреза см. на рис. 14

1 — доальпийский фундамент (а — дзирульского типа и кристаллического ядра; б — сванетского типа); 2–5 — альпийский геосинклинальный чехол: 2 — терригенные песчано-глинистые толщи лейаса и ааленского яруса средней юры, 3 — вулканогенная формация байосского яруса средней юры, 4 — карбонатные толщи верхней юры и мела (а — в абхазских фациях, б — во флишевых фациях), 5 — молассовые образования эоцена — миоцена, 6 — важнейшие стратиграфические границы, 7 — разломы, 8 — контуры облака афтершоков на глубине (по данным Международной эпицентральной экспедиции ИФЗ РАН). Аббревиатуры над разрезом обозначения тектонических зон

отсутствие ярко выраженных первичных тектонических сейсмодислокаций при высокой магнитуде и малой глубине очага, а также большие поперечные размеры поля афтершоков, широкое распространение вторичных, сейсмогравитационных нарушений и аномально низкая интенсивность воздействия. Кроме надвига по данным о распределении гипоцентров афтершоков в разрезе до глубин 15–18 км выделены дополнительные более крутые плоскости смещения, связанные с активизировавшимися разломами Окрибо-Сачхерской и Рача-Лечхумской тектонических зон.

Изучение Рачинского землетрясения показало, что тренчинг на активных разломах — далеко не исчерпывающий метод выявления и параметризации потенциальных очагов сильных землетрясений, так как сейсмический очаг напрямую не вышел на поверхность. В связи с этим был разработан и применен метод изучения внутренней структуры и пространственных параметров очага по распределению вторичных сейсмодислокаций на основе дистанционных и полевых данных. При этом были широко использованы сейсмо-

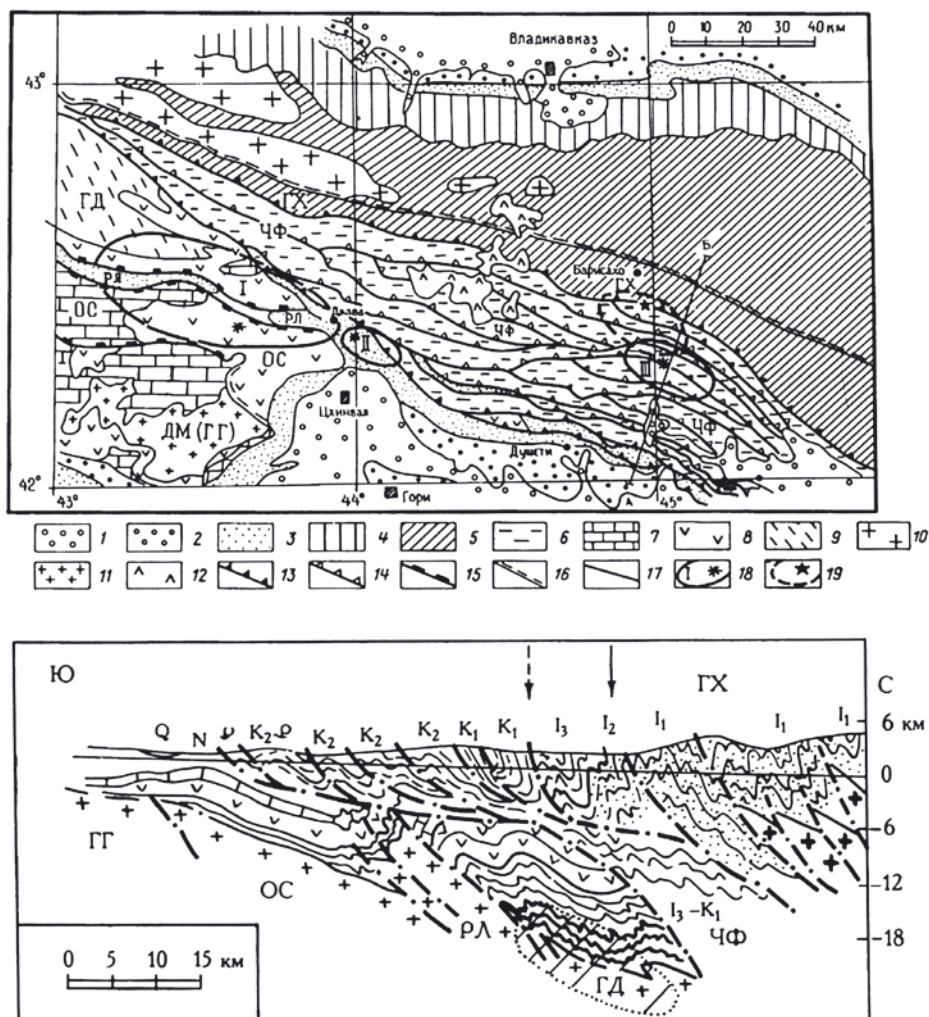
логические, геофизические и структурно-геологические данные о геологическом строении территории и проявлениях очага землетрясения.

БАРИСАХСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1992 г.

Через полтора года, 23 октября 1992 г., к востоку от очага Рачинского землетрясения на Южном склоне Большого Кавказа произошло Барисахское землетрясение с $M = 6.5$, $I_0 = 7-8$ баллов. Очаг землетрясения был приурочен к контакту кристаллического фундамента и складчатого чехла на границе автохтонных Гагро-Джавской и Рача-Лечхумской тектонических зон и Чиатурского флишевого синклиория [Рогожин, 1993а]. Поверхность фундамента подчеркивается многими гипоцентрами повторных толчков Барисахского землетрясения, большинство из которых залегает на глубинах 15–20 км (рис. 9). Кровля фундамента по геофизическим данным здесь полого погружается к северу, пока вновь не появляется почти у поверхности к югу от Главного Кавказского и Тляратинского разломов. Методом инверсии объемных волн была получена модель очага в виде пологой плоскости северо-западного простирания (300°) с углом падения 15° в северо-восточном направлении и глубиной гипоцентра 16 км [Gomez et al., 1997]. Пододвигание жестких пород цоколя под вулканогенно-осадочные толщи Южного склона Большого Кавказа ведет к резким срывам чехла с фундамента по пологим поверхностям, что и вызвало Барисахское землетрясение.

► Рис. 9. Тектоническая позиция очаговых зон Барисахского и Рачинского землетрясений [Рогожин, 1993а]

1–3 отложения кайнозоя: 1 — четвертичные; 2 — неогеновые; 3 — палеогеновые; 4–6 — тектонические зоны мегантиклинория Большого Кавказа: 4 — северного склона; 5 — сланцевого ядра Главного (ГХ) и Бокового хребтов; 6 — Чиаурская флишевая (ЧФ); 7–9 — комплексы пород Гагро-Джавской (ГД), Рача-Лечхумской (РЛ), Окрибо-Сачхерской (ОС) зон и Дзирульского массива (ДМ): 7 — карбонатные толщи верхней юры и мела; 8 — вулканиты байоса; 9 — песчано-сланцевые толщи нижней юры и ааленского яруса средней юры; 10, 11 — породы доальпийского основания: 10 — кристаллического ядра; 11 — Грузинской глыбы (Дзирульский массив — ДМ(ГГ)); 12 — четвертичные лавы вулканов Каэбекской группы; 13–16 — разломы: 13 — граничные взбросо-надвиги; 14 — внутризональные взбросо-надвиги; 15 — взбросы; 16 — прочие; 17 — некоторые стратиграфические границы; 18 — очаговые зоны сильных землетрясений (Рачинского 1991 г. (I), Джавского 1991 г. (II), Барисахского 1992 г. (III)) и их инструментальные эпицентры; 19 — контуры облака



На схематическом геологическом разрезе очаговой области Барисахского землетрясения стрелками показано положение эпицентра землетрясения по разным данным. Заштрихованная область — облако эпицентров афтершоков и гипоцентр главного толчка Барисахского землетрясения.

Очаги Рачинского и Барисахского землетрясений отразили основную тенденцию геологического развития региона — надвигание Южного склона Большого Кавказа на фундамент Закавказского срединного массива, ранее реконструированное тектонистами грузинской школы — П.Д. Гамкрелидзе, И.П. Гамкрелидзе¹³, Ш.А. Адамия и др.¹⁴ Это заставило пересмотреть сложившиеся сейсмотектонические представления о Большом Кавказе и начать региональные исследования с новых позиций. В первую очередь это касалось поиска других участков, где геологическая обстановка может способствовать формированию очагов землетрясений, подобных Рачинскому.

Кроме того, стало ясно, что Кавказ испытывает сейсмическую активизацию, ведь за три года произошло три сильных землетрясения. В поисках общих закономерностей была отмечена приуроченность Спитакского, Рачинского и Барисахского землетрясений к Транскавказскому поперечному поднятию — крупнейшей меридионально ориентированной тектонической зоне Кавказского региона [Рогожин, Богачкин, 1993б]. Транскавказское поперечное поднятие представляет собой цепочку субширотных наиболее приподнятых и деформированных участков с молодым, позднплейстоцен–голоценовым вулканизмом, образующую водораздел бассейнов Черного и Каспийского морей. Активизация свидетельствовала о миграции очагов в северном направлении вдоль Транскавказского поднятия. По этой причине был сделан вывод о повышенном риске возникновения землетрясений в ближайшем будущем на Северном склоне Большого Кавказа и в Центральном Предкавказье [Рогожин, Хованский, 1994].

На северном окончании Транскавказского поднятия расположено Ставропольское поднятие. Вскоре там произошла серия ощутимых землетрясений: Верхне-Янкульское (1999 г., $M = 4.4$, $I_0 = 6-7$ баллов), Суворовское (2006 г., $M = 4.1$, $I_0 = 5-6$ баллов), Заветненское (2012 г., $M = 4.0$, $I_0 = 5$ баллов) и Воровсколесское (2012 г., $M = 3.8$, $I_0 = 4$ балла¹⁵. Надо сказать, что предыдущее ощутимое землетрясение на

¹³ Гамкрелидзе П.Д., Гамкрелидзе И.П. Тектонические покровы Южного склона Большого Кавказа. Тбилиси: Мецниереба, 1977. 81 с.

¹⁴ Адамия Ш.А., Габуния Г.Л., Кутелия З.А., Хуцишвили О.Д. Характерные черты тектоники Кавказа // Геодинамика Кавказа. М.: Наука, 1989. С. 3–15.

¹⁵ Габсатарова И.П., Королецы Л.Н., Иванова Л.Е., Селиванова Е.А. Землетрясения Заветненское 2 мая 2012 г. с $Kp = 11.2$, $M_{wep} = 4.3$, $I_0 = 5$ и Воровсколесское-II 15 декабря 2012 г. с $Kp = 10.8$, $M_{wep} = 4.2$, $I_0 = 4$ (Ставропольский край) // Землетрясения Северной Евразии в 2012 году. Обнинск: ГС РАН, 2018. С. 323–331.

Ставропольском поднятии — Невинномысское ($M = 4.5$, $I_0 = 7$ баллов) — произошло в 1971 г. Если на Восточном Кавказе уровень сейсмической активности сохранялся на прежнем, высоком, уровне, но без сильных землетрясений, то на Ставропольском поднятии действительно возникла сейсмическая активизация.

ДАГЕСТАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1970 г.

В начале 1990-х гг. с использованием фондовых и дистанционных данных была детально исследована тектоническая позиция Дагестанского (Махачкалинского) землетрясения 1970 г. с $M = 6.6$ ($I_0 = 9$ баллов). Несмотря на небольшую глубину гипоцентра ($h = 9\text{--}12$ км), плоскость подвижки в очаге не вышла на поверхность. Привлечение результатов сейсморазведочных работ 1960-х–1970-х годов и работ МОВЗ, проведенных здесь в 1980-х годах центром ГЕОН, позволило разработать сейсмотектоническую модель, показывающую весьма сложное строение сейсмоактивной среды северо-восточного выступа Большого Кавказа — Дагестанского клина [Отчет..., 1993; Рогожин и др., 2014а]. В ближней зоне сразу после землетрясения сейсмологические наблюдения проводились экспедицией ИФЗ АН СССР, что позволило получить детальные материалы о распределении афтершоков. Однако попытка воссоздать модель сейсмического очага не удалась в силу очень слабой корреляции между сейсмологическими проявлениями очагового процесса и приповерхностной геологической структурой¹⁶.

Построенные в начале 1990-х гг. геолого-геофизические разрезы показали резкое различие строения северной части Дагестанского клина на разных глубинах [Отчет..., 1993]. Глубокие горизонты характеризуются наличием складчатых дислокаций и взбросо-надвигов, дисгармоничных по отношению к приповерхностным, более простым коробчатым складкам с малоамплитудными взбросами (рис. 10). Если в верхнем этаже взбросы имеют преимущественно крутое северное падение, то в нижнем они полого погружаются на юг, в сторону Осевой зоны Большого Кавказа. Раздел между этими двумя структурными этажами выявлен на глубине около 4 км. На границе с Терско-Каспийским предгорным прогибом раздел представлен листрической системой линз-чешуй, вдвинутых в

¹⁶ Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г.: Сейсмология, геология, геофизика / Ред. Х.И. Амирханов. М.: Наука, 1980. 220 с.

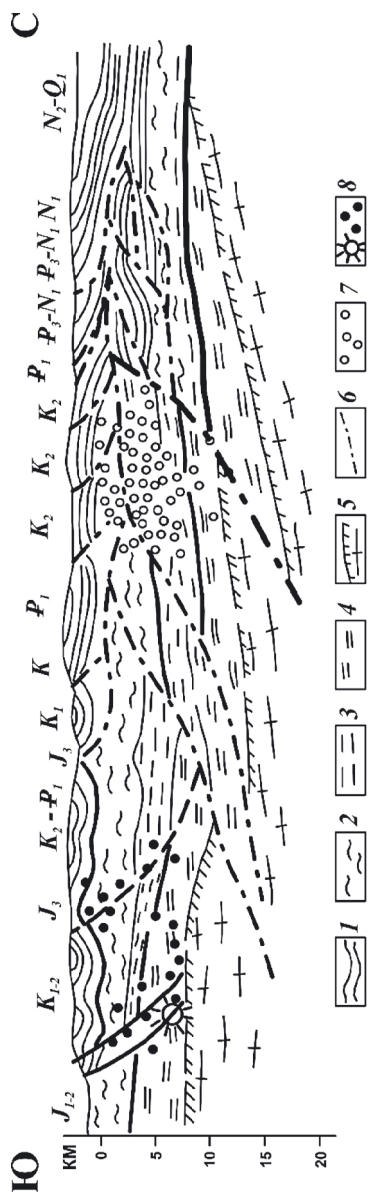


Рис. 10. Схематический геолого-геофизический разрез Дагестанского клина в районе Дагестанского (1970 г.) и Тлохского (1992 г., $M = 4.7$, $I_0 = 7$ баллов) землетрясений [Отчет..., 1993; Рогожин и др., 2014a].

1 — толщи верхней юры, мела и кайнозоя; 2 — толщи флишеидной формации средней юры, 3 — толщи аспидной формации нижней-средней юры; 4 — метаморфизированные породы среднего палеозоя-триаса (?); 5 — кристаллический фундамент и кровля гранито-гнейсового слоя; 6 — разломы; 7 — гипотендры афтершоков землетрясения 1970 г.; 8 — гипотендры главного толчка и афтершоков Тлохского землетрясения 1992 г.

северном направлении и затухающих в пластичных толщах нефтеносной майкопской серии палеоген–неогенового возраста¹⁷. В этой зоне мезозойские и более молодые отложения Дагестанского клина надвинуты на Терско-Каспийский краевой прогиб по прерывистой поверхности, в целом погружающейся к югу.

Таким образом, поверхностные структуры маскируют строение более глубоких горизонтов чехла и кристаллического фундамента, в которых и развился очаг Дагестанского землетрясения 1970 г. Неудивительно, что проявления сейсмического очага, располагавшегося, безусловно, глубже 4 км, плохо увязываются с приповерхностной геологической структурой. Сопоставление положения облака гипоцентров афтершоков с глубинной структурой фронтальной части Дагестанского клина показало расположение участков сгущения вторых толчков в корневых частях пологих поверхностей вдвиговых разрывов на глубинах от 2 до 10 км.

В итоге модель очага Дагестанского землетрясения 1970 г. была представлена в виде объемного геологического тела, образованного как крупным уступом на поверхности кристаллического фундамента, так и обширной деформированной линзой в среднем и нижнем горизонтах чехла. Поскольку вдвиговые деформации затухают в теле осадочного чехла, можно полагать, что и очаг землетрясения связан со скрытыми глубинными перемещениями аллохтонных пластин. Проекция таких очагов на поверхность, рассеянная по пологим разноразноуровневым плоскостям, имеет площадь, значительно превышающую оценки ширины поперек структуры по сейсмологическим данным.

Разработка модели очага Дагестанского землетрясения 1970 г. показала реальные контуры сейсмогенерирующей структуры, не соответствующие приповерхностному геологическому строению. Аналогичное сложное строение с несоответствием структурных планов на разных глубинах характерно для фронтальной зоны Дагестанского клина, антиклинальных зон Терско-Каспийского передового прогиба и Приморского Дагестана. Более того, такое сложное строение отмечается для всей зоны перехода от горного сооружения Большого Кавказа к Скифской плите и передовым прогибам Предкавказья.

¹⁷ Соборнов К.О. Формирование складчато-надвиговой структуры Дагестанского клина // Геотектоника. 1991. № 3. С. 34–46.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА В XXI в.

11 октября 2008 г. на западной окраине Дагестанского клина произошло Курчалойское землетрясение ($M = 5.8$, $I_0 = 7-8$ баллов). Землетрясение стало причиной гибели 13 человек и сопровождалось обвалами и оползнями в горной части Чеченской Республики. Простирание длинной оси изосейст высших баллов имело ярко выраженную северо-восточную ориентировку и было вытянуто вдоль разлома, ограничивающего горное поднятие Дагестанского клина с северо-запада. Подвижка в очаге представляла собой левосторонний взбросо-сдвиг с крутым погружением поверхности сместителя в юго-восточном направлении под северо-западный склон Дагестанского клина. Таким образом, сейсмотектоническая позиция Курчалойского землетрясения отразила тенденцию разрастания Дагестанского клина в северо-восточном направлении [Рогожин, Овсяченко, 2011; Рогожин и др., 2014а; Рогожин, 2017а].

Не утихла после землетрясения 1991 г. и Рача-Джавская зона на Южном склоне Большого Кавказа — все последующие годы этот район оставался высокосейсмичным. Наиболее сильные сейсмические события здесь произошли в 2006 г. (Онийское-I, $M = 5.3$, $I_0 = 4$ балла) и 2009 г. (Онийское-II, $M = 6.2$, $I_0 = 7$ баллов). В 2009 г. Е.А. Рогожин и С.С. Арефьев инициировали специальные сейсмологические, макросейсмические и геологические исследования Онийского-II землетрясения на территории Южной Осетии [Рогожин и др., 2009а]. Характер нарушений имел вторичный, в основном сейсмогравитационный, характер. Возникли редкие обвалы, многочисленные осыпи на горных склонах, сели на небольших реках и ручьях. Тип подвижки в очаге — надвиг с незначительной компонентой сдвига по пологой плоскости, погружающейся в север-северо-восточном направлении. Сходство строения очагов Онийского-II и Рачинского землетрясений показало, что процесс надвигания Южного склона Большого Кавказа на Закавказский массив продолжился [Рогожин, 2017б].

В 2000–2018 гг. сейсмическая активизация охватила Южный склон и Осевую зону Восточного Кавказа. 25 ноября 2000 г. произошли два сильнейших в этой активизации Бакинских землетрясения с $M = 6.6$ и 6.3 ($I_0 = 8$ баллов). Позже имели место Шекинский рой с главным землетрясением 08.02.2004 г. ($M = 5.1$); два Закатальских землетрясения 2012 г. с $M = 5.6$ и 5.7 ; Исмаилинское землетрясение 2012 г. с $M = 5.1$; толчок на границе Грузии и России 2013 г. с $M = 5.5$;

землетрясение 2014 г. с $M = 5.1$ в районе г. Закаталы; Шекинское событие 2015 г. в районе г. Огуз с $M = 5.5$ и, наконец, Шорбачинское землетрясение 2018 г. с $M = 5.3$ в 20 км к восток–юго-востоку от г. Закаталы [Етирмишли и др., 2019]. Очаги этих ощутимых сейсмических событий охватили практически все сегменты в восточной части Южного склона Большого Кавказа и происходили с необычной частотой. Поперечные разломы, выделенные по данным новейшей тектоники и на основе анализа морфологических неоднородностей складчатости [Маммадли, Рогожин, 2018], контролируют проявления слабой сейсмичности с глубиной гипоцентров до 40 км, в то время как в разделяемых ими блоках гипоцентры обычно не достигают глубин более 15 км.

Характер подвижки в очагах перечисленных землетрясений существенно изменяется с запада на восток и представлен различными сочетаниями сбросов и взбросов со сдвиговой компонентой. Очаги преимущественно сбросового и взбросового типов связаны с разломами общекавказского, запад–северо-западного простирания. Преимущественно сдвиговые очаги связаны с разломами антикавказской, в основном север–северо-восточной ориентировки. Такие существенные различия объяснены [Етирмишли и др., 2019] наличием активных поперечных структур, которые контролируют размещение очагов умеренных землетрясений, и резкими изменениями современного напряженно-деформированного состояния в земной коре на разных отрезках Восточного Кавказа, что выражается в существенном различии характера современных горизонтальных движений на поверхности по данным спутниковой геодезии.

Бакинские землетрясения 2000 г. ($M = 6.6$ и 6.3 , $I_0 = 8$ баллов) в Азербайджане стали сильнейшими после Шемахинского события 1902 г. ($M = 6.9$, $I_0 = 8-9$ баллов). Они сопровождались человеческими жертвами (3 человека) и разрушениями в прикаспийской части Азербайджана. Очаги располагались на восточном погружении складчатого поднятия Большого Кавказа, в акватории Каспийского моря. Кинематика смещений в очагах — сбросы северо-западного простирания с незначительной сдвиговой составляющей. В схожей обстановке (растяжения) произошло Каспийское землетрясение 1986 г. ($M = 6.2$), очаг которого был расположен на Апшероно-Прибалханском пороге — узкой перемычке, соединяющей Большой Кавказ и Копетдаг. Таким образом, наблюдаемая современная обстановка

растяжения не соответствует реконструируемой здесь (исходя из наличия океанической земной коры в Южно-Каспийской впадине) обстановке активной континентальной окраины [Маммадли, Рогожин, 2016].

Исследования очагов современных землетрясений Восточного Кавказа показали большую сложность кинематической картины происходящих здесь в настоящее время сеймотектонических движений и отсутствие непротиворечивой сеймотектонической модели.

ТЕКТОНИКА ОЧАГОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Примеры изучения очагов современных землетрясений позволили сделать ряд важных выводов [Рогожин, 1990; 1993б; 2000; 2012; 2019; Рогожин и др., 2021]. Этому была посвящена докторская диссертация Е.А. Рогожина [1990], в которой помимо Спитакского, были использованы материалы изучения Ашхабадского землетрясения 1948 г. ($M = 7.3$) в Туркмении и землетрясений Фриули 1976 г. ($M = 6.4, 6.1$) на севере Италии, Черногорского 1979 г. ($M = 7.1$) в Югославии, Эль-Аснамского 1980 г. ($M = 7.3$) в Алжире, Кумдагского 1983 г. ($M = 5.7$) и Бурунского 1984 г. ($M = 6.0$) в Западной Туркмении, Газлийского 1984 г. ($M = 7.3$) в Западном Узбекистане и Кайраккумского 1985 г. ($M = 5.7$) в Северном Таджикистане. Позже к ним добавились: Могодское 1967 г. в Центральной Монголии, Зайсанское 1990 г. ($M = 6.8$) в Восточном Казахстане, рассмотренное выше Рачинское 1991 г. с $M = 7.0$, Сусамырское 1992 г. ($M = 7.3$) на севере Киргизии, Шикотанское 1994 г. ($M = 8.1$) на Южных Курилах, Нефтегорское 1995 г. ($M = 7.2$) на севере Сахалина, Кроноцкое 1997 г. ($M = 7.7$) на Камчатке, Каребасское ($M = 6.3$) и Ахрамское ($M = 5.0-5.5$) 1999 г. в Южном Иране, Алтайское (Чуйское) 2003 г. ($M = 7.3$) в Горном Алтае, Олюторское 2006 г. ($M = 7.8$) в Корякии, Вэньчуаньское 2008 г. ($M = 8.0$) в Китае, Тувинские 2011–2012 гг. ($M = 6.7, 6.8$) и другие, более слабые или менее изученные события. В каждом конкретном случае было выполнено сопоставление всех имеющихся геолого-геофизических данных с приповерхностным геологическим и глубинным строением района, а также с ведущими тенденциями тектонического развития данной территории. Все это имеет непосредственное отношение и к Кавказу, показывая как его своеобразие, так и общие закономерности, характерные для всех сейсмогенерирующих структур.

Проявления перечисленных сейсмических событий свидетельствуют о распространении очагов отдельных землетрясений вдоль вертикальных, наклонных и субгоризонтальных границ крупных сейсмогенных блоков. По мере увеличения магнитуды возрастает и сложность строения, а также количество сегментов и размеры сейсмического очага. Выходы очагов на поверхность образуют некую область — зону сейсморазрывов, ширина которой может достигать нескольких сотен метров и даже километров в зависимости от конкретных геолого-геоморфологических условий и силы землетрясения. Сейсморазрывы приурочены к определенным геологическим структурам и формам рельефа, сформированным предыдущими сейсмическими подвижками, но не всегда совпадают в деталях и могут менять свое положение от одного землетрясения к другому.

Рачинское и Дагестанское землетрясения наглядно показали, что возможность выхода очага сильного землетрясения на поверхность зависит не только от глубины или магнитуды, но и от кинематики подвижки в очаге. В итоге, даже при большой магнитуде и небольшой глубине очаг надвигового землетрясения может не выйти на поверхность или же будет иметь очень сложное строение, распознать которое можно далеко не всегда. Таким образом, стало ясно, что в возможности выхода очага сильного землетрясения на поверхность важную роль играют конкретные тектонические условия очаговой зоны. Чем глубже расположен очаг и чем сложнее его структурный ансамбль, тем меньше вероятность появления сейсморазрыва на поверхности. Реализация смещения вдоль многих поверхностей также способствует более компактному положению очага на поверхности. В целях оценки сейсмической опасности крайне важен вывод о том, что наличие или отсутствие ярко выраженных активных разломов на поверхности далеко не всегда прямо отражает уровень сейсмической опасности. Кроме того, выход очага на поверхность может быть представлен складками и флексурами, т.е. деформациями изгиба, или завуалирован гравитационно-сейсмотектоническими структурами.

Помимо практических выводов в целях сейсмотектонического районирования отдельных регионов, результаты исследований очагов сильных землетрясений были заложены в основу разработки стратегии прогноза землетрясений, в которой органично сочетались бы сейсмотектонические методы, используемые для выявления потенциальных очагов, и сейсмологические, используемые для прогноза времени землетрясения [Рогожин и др., 2011].

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ

Изучение очаговых зон сильных землетрясений Кавказа показало, насколько важную роль в сейсмотектоническом анализе играют исследования глубинного строения. Примечательно, что для изучения внутренней структуры и размеров очага Рачинского землетрясения были привлечены дистанционные методы.

Более целенаправленно дистанционные методы применялись при изучении глубинного строения очаговых зон сильных землетрясений на основе анализа тектонической раздробленности. Метод был разработан Ю.В. Нечаевым¹⁸ и опробован совместно с Е.А. Рогожиным при изучении Спитакского и Рачинского землетрясений [Нечаев, Рогожин, 1991; Нечаев и др., 1993]. Он основан на специализированной обработке удельной длины линеаментов, определяемых при дешифрировании космоснимков, и построении карт тектонической раздробленности. Этот оригинальный метод позволил создавать карты тектонической раздробленности для разных глубинных срезов, что дало возможность построения разрезов до больших глубин (в зависимости от размеров анализируемой территории) с определением морфологии выделяемых структур. Разрезы, получаемые при использовании исключительно космических изображений, обнаружили хорошую сопоставимость с геологическими и геофизическими. Области подготовки и реализации Спитакского и Рачинского землетрясений выделены повышенными аномалиями тектонической раздробленности. Метод использован при сейсмотектоническом районировании Предкавказья [Нечаев и др., 1998; Рогожин и др., 1998], а позже был запатентован в сочетании с геолого-геофизическими для оптимальной прокладки магистральных трубопроводов на участках активных разломов [Рогожин и др., 2009в].

Уникальные базы данных, собранные при сейсмологических наблюдениях в эпицентральных зонах Спитакского и Рачинского землетрясений¹⁹, дали возможность изучить глубинное строение очагов методом локальной сейсмической томографии в сопоставлении с геологическими данными [Арефьев и др., 2006а]. В глубинных сейсмотомографических моделях очаги предстали низкоростными,

¹⁸ Нечаев Ю.В. Линеаменты и тектоническая раздробленность: Дистанционное изучение внутреннего строения литосферы. М.: ИФЗ РАН, 2010. 215 с.

¹⁹ Арефьев С.С. Эпицентральные сейсмологические исследования. М.: Академнига, 2003. 375 с.

разрушенными включениями в земной коре, имеющими морфологию узких зон относительно пониженных сейсмических скоростей продольных волн (V_p) [Дорбат и др., 2004; Арефьев и др., 2006б]. Аномально низкоскоростные зоны сопровождают на глубине основные и дополнительные разломы и, по-видимому, являются зонами их динамического влияния. Разрушенные приразломные зоны, имеющие многочисленные трещины и разрывы, представляют собой препятствия на пути сейсмических волн. Поэтому в их пределах продольные волны распространяются со сравнительно более низкой скоростью относительно ненарушенной геологической среды. Очевидно, что эти выводы относятся к стадии эволюции очаговых зон после сильного землетрясения.

В конце 1990-х — начале 2000-х годов фундаментальные исследования складчатости были продолжены Е.А. Рогожиным на северо-западном окончании Большого Кавказа, ранее не охваченном структурно-геологическими пересечениями. На этот раз они сопровождали более крупномасштабные исследования глубинного строения в целях долгосрочного сейсмического прогноза [Золотов и др., 2001]. Исследования проводились на центральном (Горячий Ключ — Джубга) и краевом (Новороссийск—Крымск) пересечениях Северо-Западного Кавказа. Составленные структурно-геологические разрезы были использованы для наполнения геологическим содержанием верхней части профилей МТЗ-МОВЗ, построенных специалистами ГЕОНа и «Кавказгеолсъемки» (рис. 11, 12).

Такие разрезы дают наглядное представление о поведении крупнейших неоднородностей земной коры в недрах. Представляя собой надежную глубинную основу, они были использованы при разработке региональной сейсмотектонической модели Большого Кавказа и Предкавказья [Лутиков и др., 2008, 2013, 2019; Рогожин и др., 2013а; 2014а; Акимов и др., 2019а].

Хорошо проработанные стандартные методы глубинной геофизики дают ответы на многие вопросы, поднятые при изучении современных землетрясений Кавказа, в числе которых — как изучать очаги землетрясений, не выходящие на поверхность или представленные складками и флексурами, и как получать их пространственные параметры, такие как глубина, его проекция на поверхность или кинематика смещений, необходимые для разработки сейсмотектонических моделей. Однако применение таких методов далеко не всегда доступно по причине сложности, большой трудоемкости и дороговизны.

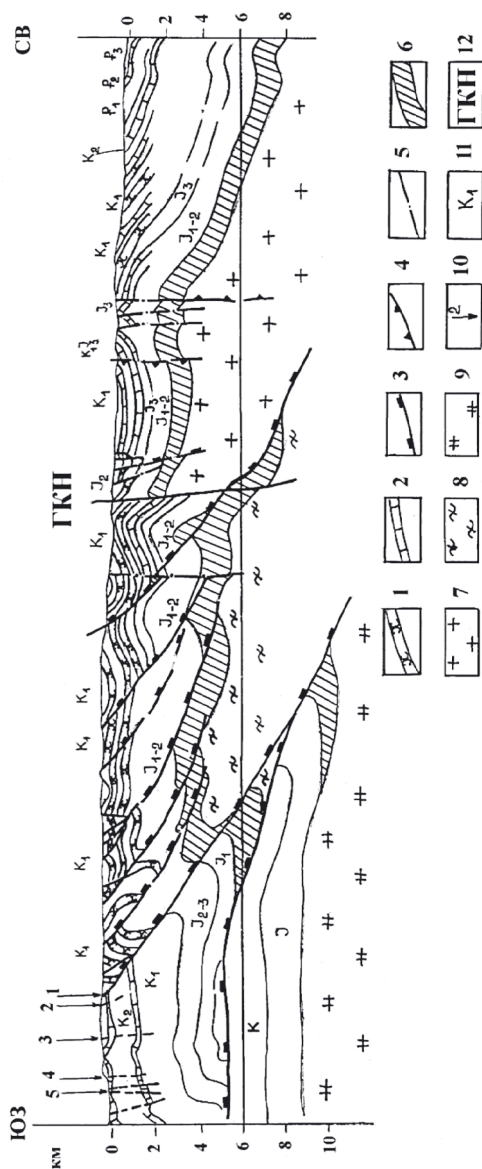


Рис. 12. Балансированный геолого-геофизический разрез верхней части земной коры Северо-Западного Кавказа на центральном пересечении (Горячий Ключ—Джубга) (составлен с использованием данных А.Г. Шемпелева и др.) [Рогожин, Овсяченко, 2005]

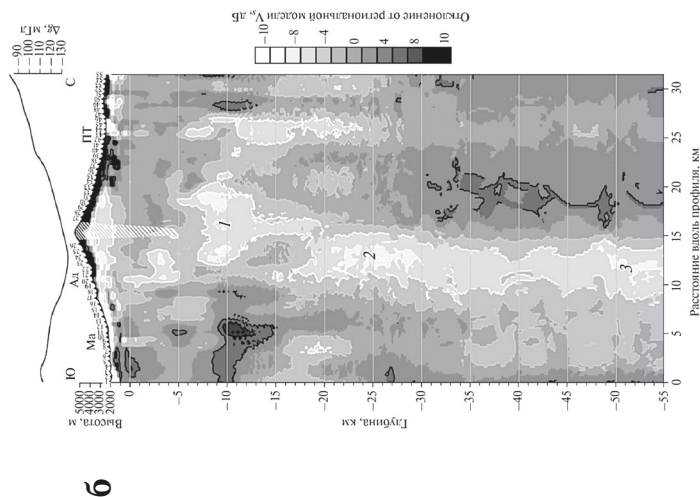
1 — терригенные толщи мезозоя;
 2 — карбонатные толщи мезозоя;
 3 — 5 — разломы: 3 — взбросы и надвиги, 4 — сбросо-сдвиги, 5 — прочие разломы; 6 — переходный (верхнепалеозойский) комплекс между чехлом и фундаментом; 7–9 — домезозойский фундамент складчатой системы: 7 — Северо-Кавказского краевого массива, 8 — пластичный сванетского типа, 9 — закавказского (дзирульского) типа; 10 — места расположения активных новейших разломов и их номера; 11 — геологические индексы; 12 — место выхода на поверхность Главного Кавказского надвига. Цифрами над профилем обозначены новейшие разрывные нарушения: 1 — Кузнецовский взброс; 2 — Малобжидский взброс; 3 — Верхнехазаровский сброс; 4 — Береговой сброс; 5 — Дровяной взбросо-сдвиг

В качестве метода, лишенного перечисленных недостатков, в ИФЗ РАН А.В. Горбатиковым²⁰ и др. был реализован метод микросейсмического зондирования (ММЗ). Он относится к группе пассивных методов сейсморазведки, в котором полезным сигналом является искажение амплитудного поля относительно региональной скоростной модели V_s при взаимодействии со скоростными неоднородностями среды. Распределения амплитудной реакции неоднородностей на облучение микросейсмическими волнами позволяют выявлять конфигурацию скоростных границ на глубину до 60 км. Получаемые разрезы показывают глубинные неоднородности с отклонениями скоростей поперечных сейсмических волн относительно средней скоростной модели региона. Уменьшения скоростей связываются в первую очередь с пониженной прочностью и тектонической нарушенностью среды, а кроме того, с изменением состава пород. С конца 2000-х гг. под руководством Е.А. Рогожина ММЗ начал активно применяться в различных сейсмоактивных районах, но особенно широко — на Кавказе.

С использованием ММЗ на Центральном Кавказе изучено глубинное строение зоны Владикавказского разлома [Горбатиков и др., 2010; Овсяченко и др., 2011]. На Северо-Западном Кавказе были составлены модели приповерхностного и глубинного строения для сейсмогенерирующих структур, породивших землетрясения Нижнекубанское-II 2002 г. с $M = 4.7$, Супсехское 2012 г. с $M = 4.3$, а также Пшехское 2004 г. с $M = 4.6$ [Рогожин и др., 2019в]. На северо-западном погружении Большого Кавказа было изучено глубинное строение всех основных тектонических границ на пяти продольных и поперечных профилях ММЗ [Рогожин и др., 2019а, 2020]. В Предкавказье была исследована очаговая зона Сальского землетрясения 2001 г. $M = 4.6$ [Горбатиков и др., 2019]. В связи с работами по оценке сейсмической опасности для района проектируемого Крымского моста были изучено глубинное строение основных активных разломов Керченско-Таманской складчатой зоны, включая Керченский пролив [Рогожин и др., 2015в; Рогожин, Горбатиков, 2015; Овсяченко и др., 2017а, 2019б].

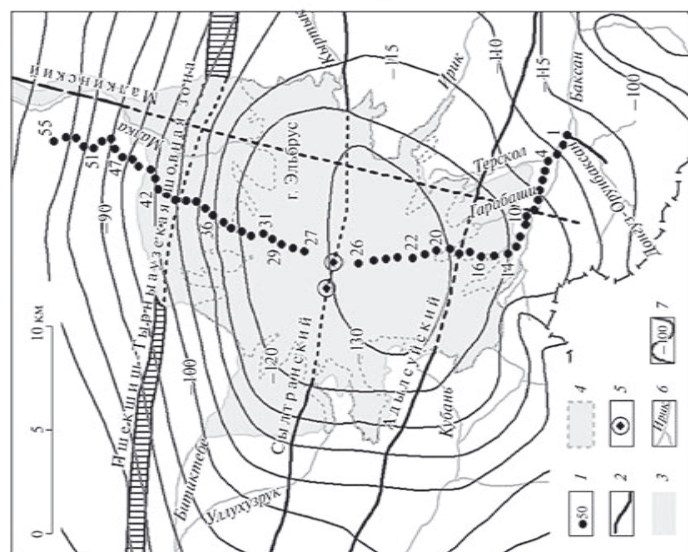
На Центральном Кавказе профиль ММЗ был выполнен через вулкан Эльбрус и долину р. Баксан (рис. 13). Это позволило выявить магматические камеры, очаг и канал, образующие субвертикальную це-

²⁰ Горбатиков А.В. Способ сейсморазведки. Патент на изобретение № RU 2271554 С1 от 10.03.2006. Оpubл. 10.03.2006. Бюл. № 7.



б

б — разрез MM3 вдоль профиля в децибелах отклонения от средней сглаженной региональной скоростной модели $V_s(h)$; заштрихованный сектор — «слепа́я зона» вследствие разрыва профиля; вверху — аномалия ускорения силы тяжести вдоль профиля Δg ; 1 — магматическая камера, 2 и 3 — верхний и нижний очаги. Буквами обозначены разломы: Ад — Адыйсуйский, Ма — Малкинский, ПТ — Пшекиш-Тырныауэзский



а

Рис. 13. Глубинное строение вулкана Эльбрус по данным MM3 [Горбатилов и др., 2018]
а — расположение профиля MM3: 1 — пикеты профиля MM3 и их номера; 2 — разломы; 3 — внешние контуры лавовых полей Эльбруса; 4 — внешние контуры ледников; 5 — вулканические кратеры; 6 — реки и их названия; 7 — изоаномалы ускорения силы тяжести Δg , м/л (оцифровка условная).

почку, протягивающуюся до глубин 50 км и более [Рогожин и др., 2016; 2018а; Горбатилов и др., 2018; *Milyukov et al.*, 2018]. В разрезе прослежены глубинные разломы, включая Сылтранский магмоконтролирующий разлом, которые хорошо коррелируются с их морфологическими проявлениями на поверхности. Данные, полученные методом микро-сейсмического зондирования, показали, что под вулканом Эльбрус находится вулканическая система с непрерывными каналами от мантии до верхних горизонтов земной коры. Таким образом, Эльбрус — вулкан спящий и сохраняет опасность вулканической активизации.

С использованием ММЗ были получены результаты, продолжающие геодинамическую направленность исследований Е.А. Рогожина для двух полных пересечений Большого Кавказа — в его северо-западной части (профиль Майкоп–Туапсе) и центральном секторе (вдоль Военно-Осетинской дороги) [Рогожин и др., 2013б, 2014а, 2015а, 2015б; Горбатилов и др., 2015]. На Центральном Кавказе под Главным, Боковым и Скалистым хребтами на глубине около 10 км и более было обнаружено относительно низкоскоростное тело, которое прослеживается в недра до 45–50 км ниже уровня моря, постепенно сужаясь с глубиной (см. рис. 15). Каплеобразное в разрезе, это включение, по-видимому, сложено относительно более легким, чем залегающие под крыльями складчатого сооружения высокоскоростные толщи коры, трещиноватым риолит-гранитным материалом. На Северо-Западном Кавказе низкоскоростное включение под осевой частью складчатого сооружения имеет существенно меньшую контрастность.

Обнаруженное низкоскоростное тело четко коррелирует с областью максимального воздымания на позднеорогенном этапе и сопоставлено с относительно легким объемом, в котором возможны деформационное (повышенная трещиноватость) и метаморфическое (ретроградный метаморфизм) разуплотнение пород. Наличие низкоскоростного тела под самой приподнятой частью Большого Кавказа подтвердило представления об основной особенности подвижных поясов, вовлеченных в горообразование, — непременно наличии в растущем объеме земной коры относительно легких (разуплотненных) горных пород²¹, и соответствует понятию глубинного диапира в терминологии В.В. Белоусова²².

²¹ Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии. М.: Науч. мир, 1999. 252 с.

²² Белоусов В.В. Большой Кавказ как тектоническая лаборатория // Проблемы геодинамики Кавказа. М.: Наука, 1982. С. 9–13.

ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

СПУТНИКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Начиная с конца 1980-х годов в изучении современных геодинамических процессов стали активно использоваться методы спутниковой геодезии. В начале 1990-х гг., в рамках российско-американского проекта IX (работы по предсказанию землетрясений), такими исследованиями был охвачен и Кавказ, а Е.А. Рогожин принял участие в тектонической интерпретации самых первых результатов. В 1991 г. временная сеть из пяти станций GPS была размещена в эпицентральной области Рачинского землетрясения и вела регистрацию горизонтальных движений поверхности на протяжении четырех лет [Прилепин и др., 1997]. Наблюдениями были охвачены Южный склон Большого Кавказа и Закавказская плита (рис. 14). В этот период Дзирульский срединный массив и Окрибо-Сачхерская зона Закавказской плиты обнаружили смещения в северном направлении со скоростью 4.2 ± 0.9 мм/год, а сразу к северу от Кахетино–Лечхумского разлома фиксировались смещения тектонических зон Южного склона на юг и юго-запад со скоростями 6.8 ± 1.2 мм/год. Таким образом, в очаговой зоне землетрясения было зарегистрировано сокращение земной поверхности со скоростью около 1 см/год.

Помимо российско-американских, в 1993–1994 гг. на Северном Кавказе проводились исследования в рамках международного проекта SELF (Sea Level Fluctuations). Тогда были выполнены первые определения более двадцати наблюдательных пунктов, в частности четырех пунктов на Северном Кавказе: «Терскол», «Чегет», «Тырнауз» и «Зеленчукская». В 1997 г. станция «Зеленчукская» была включена в сеть опорных станций международной службы IGS (International GNSS Service) и в течение почти десятилетия оставалась единственной постоянно действующей GPS-станцией на Кавказе. В 2005 г. ГАИШ МГУ создал на Северном Кавказе три новых постоянных станции GPS/ГЛОНАСС-наблюдений: «Терскол»; «Кисловодск» и «Владикавказ» [Милюков и др., 2015]. Обработка данных выполнялась в ГАИШ МГУ. Первые результаты показали общее небольшое сжатие Северного Кавказа со скоростью порядка 1–2 мм/год.

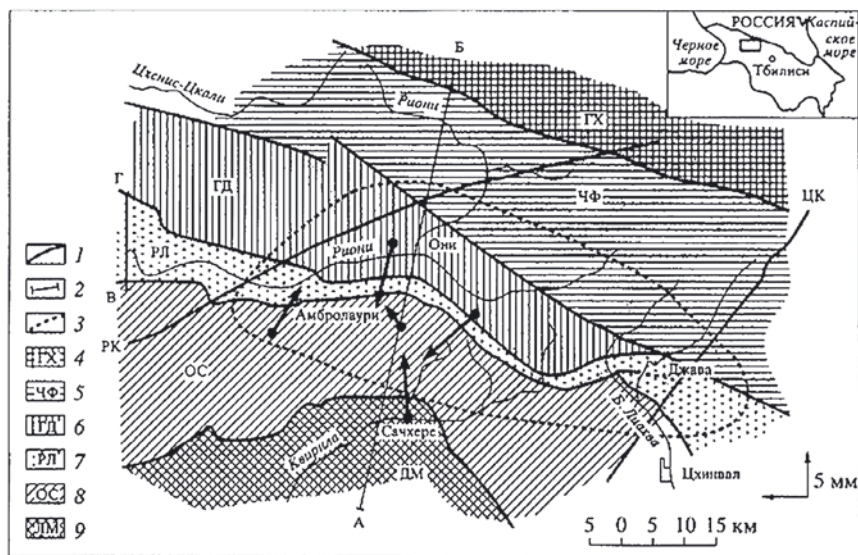


Рис. 14. Тектоническая позиция очага Рачинского землетрясения [Рогожин и др., 1993а] и вектора горизонтальных движений поверхности по данным GPS [Прилепин и др., 1997]

1 — крупнейшие разломы: ЦК — Цхинвали-Казбекский, РК — Риони-Казбекский; 2 — линия разреза (см. рис. 8); 3 — проекция очага землетрясения на поверхность по сейсмологическим данным; 4–9 — тектонические зоны: 4 — антиклинорий Главного хребта (ГХ), 5 — Чиатурский флишевый синклинорий (ЧФ), 6 — Гагрско-Джавская зона (ГД), 7 — Рача-Лечхумский прогиб (РЛ), 8 — Окрибо-Сачхерская зона (ОС), 9 — Дзирульский срединный массив (ДМ). Стрелками обозначены направления и величины векторов горизонтальных смещений, зарегистрированных локальной сетью GPS. Строение разреза А–Б см. на рис. 8

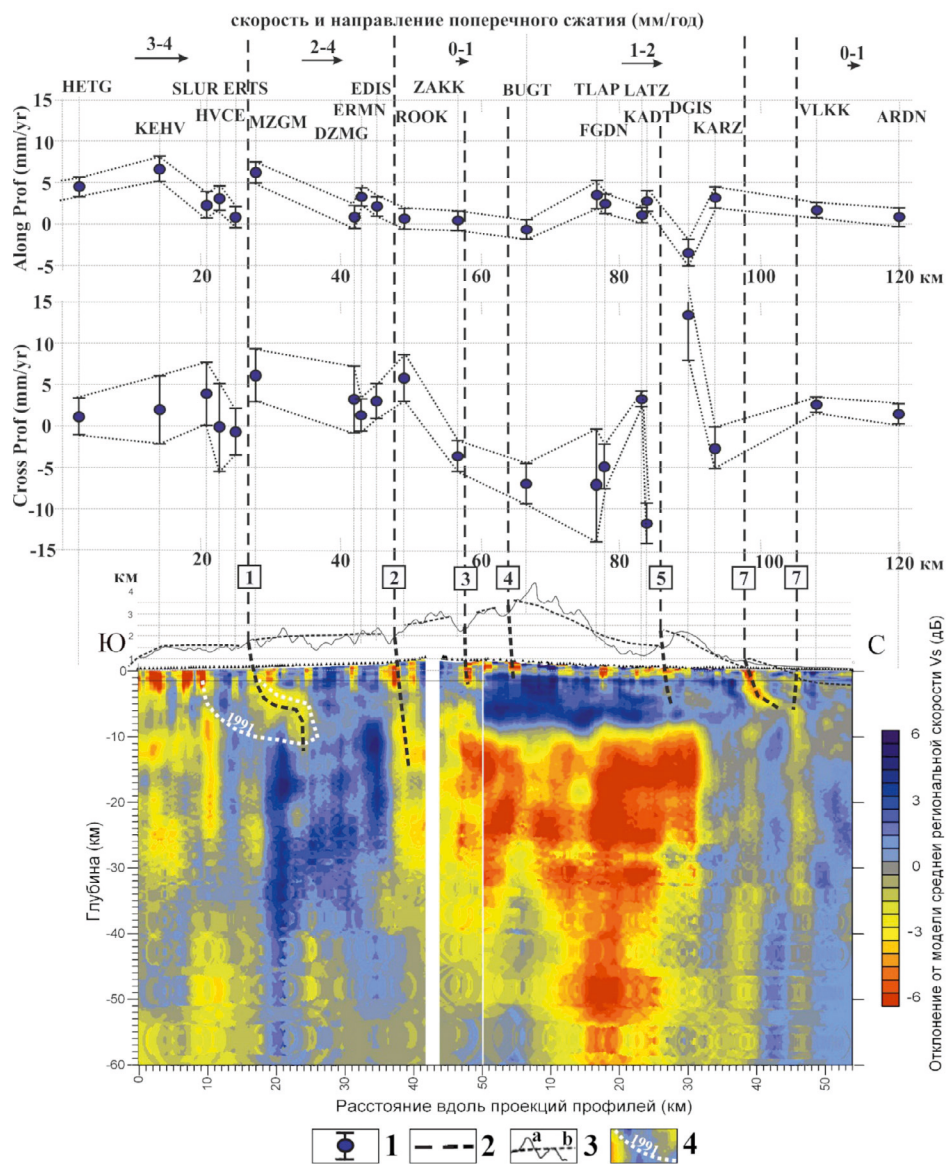
В 2009–2010 гг. во Владикавказском научном центре РАН при тесном сотрудничестве и под руководством специалистов ГАИШ МГУ во главе с В.К. Милюковым, была создана исследовательская группа, в задачи которой входило создание и поддержка Осетинской сети мобильных и постоянных пунктов GPS-наблюдений, охватывающей весь Большой Кавказ в пределах Горной Осетии²³.

²³ Милюков В.К., Дробышев В.Н., Торчинов Х-М.З., Хубаев Х.М. Изучение геодинамики Горной Осетии в 2009–2011 гг. // Вестн. ВНЦ РАН. 2011. Т. 11, № 4. С. 49–53.

В 2014–2015 гг. был создан геодезический полигон для изучения современных движений в зоне Владикавказского глубинного разлома [Милюков и др., 2017]. Полигон состоит из 23 пунктов периодически повторных наблюдений, установленных по четырем профилям с учетом наблюдения деформаций как по разломной зоне в целом, так и по отдельным ее ветвям. Геодинамическая интерпретация первых полученных данных привела к неожиданным результатам — скорости и направления горизонтальных движений не изменяются при пересечении с зоной разлома. Несмотря на несомненные факты позднечетвертичной тектонической и сейсмической активности зоны Владикавказского разлома²⁴ [Овсюченко и др., 2008, 2011], в поле современных движений, зарегистрированных созданной геодезической сетью, эта структура выступает как единый тектонический блок. Кроме того, эта зона уже на протяжении нескольких десятков лет неактивна даже на уровне умеренных сейсмических событий, за исключением слабого Хаталдонского землетрясения 2008 г. с $M=4.5$, $I_0=4$ балла [Рогожин, Милюков, 2016]. В связи с этим зону разлома можно рассматривать как структуру, находящуюся сейчас в обстановке сейсмического затишья, на стадии накопления напряжений, и в будущем способную генерировать сильное землетрясение.

В 2017 г. были обработаны и интерпретированы данные измерений на пунктах Осетинской геодезической сети [Милюков и др., 2018; Рогожин и др., 2018б]. Это позволило выполнить первую оценку скоростей горизонтальных движений, привязанную ко всем основным геологическим структурам Большого Кавказа в поперечном сечении (рис. 15). Профиль расположен в области максимального сужения всех тектонических зон Большого Кавказа. Основные подвижные тектонические границы здесь находят прямое и яркое отражение в современном рельефе и деформациях специально прослеженного позднеплиоцен–эоплейстоценового геоморфологического уровня. Здесь же был выполнен упомянутый выше профиль ММЗ, характеризующий глубинное строение Большого Кавказа [Рогожин и др., 2014а, 2015а; Горбатиков и др., 2015]. Проекции горизонтальных скоростей смещений были экстраполированы на совмещенный структурно-геоморфологический и геофизический профиль вдоль долин рек Бол. Лиахва и Ардон.

²⁴ Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. 483 с.



◀ *Рис. 15.* Структурно-геоморфологический и геофизический профили совмещенные с продольными (Along Prof) и поперечными (Cross Prof) проекциями горизонтальных скоростей смещений пунктов и станций Осетинской геодезической сети относительно неподвижной Евразии на профиль с азимутом 15.88° (по [Милюков и др., 2018])

1 — пункты и станции Осетинской геодезической сети; 2 — основные разломы (1 — Кахетино-Лечхумский (Орхевский, Уцерский); 2 — Гебско-Лагодехский; 3 — Главный Кавказский (Тибский); 4 — Адайком-Казбекский; 5 — Пуйский; 7 — Владикавказский); 3 — рельеф вдоль геолого-геофизического профиля (а) и позд-неплиоцен-эоплейстоценовый геоморфологический уровень (б); 4 — проекция контуров поля сгущения афтершоков Рачинского и Джавского землетрясений на геолого-геофизический профиль

На Южном склоне Большого Кавказа получены высокие скорости горизонтального сжатия вдоль профиля (3–4 мм/год), отражающие сближение Дзирульского массива и кристаллического ядра Большого Кавказа по зоне Кахетино-Лечхумского разлома. Надо сказать, что эти скорости существенно меньше полученных в начале 1990-х гг. — около 1 см/год [Прилепин и др., 1997]. Прогнозируемое тогда существенное снижение скорости горизонтальных движений по окончании афтершокового процесса и после землетрясений 2006–2009 гг. (Онийское-I с $M = 5.3$ и Онийское-II с $M = 6.2$) полностью подтвердилось.

В самой приподнятой части Большого Кавказа скорости поперечного сжатия заметно сокращаются — до 0–1 мм/год. На северном крыле вновь наблюдается небольшое увеличение средних скоростей горизонтальных движений (1–2 мм/год) вплоть до зоны Владикавказского разлома, к северу от которой скорость поперечного сжатия уменьшается до 0–1 мм/год.

Наличие значимых смещений поверхности поперек геодезического профиля отражает сдвиговую составляющую по крупнейшим разломам кавказского простиранья. К югу от зоны Кахетино-Лечхумского разлома скорости поперечных по отношению к профилю смещений составляют 1–5 м/год. Севернее, в наиболее приподнятой части Большого Кавказа, где скорости современных смещений в ССВ направлении существенно сокращаются, скорости поперечных движений, напротив, нарастают — до 5–15 мм/год. К северу от зоны Владикавказского разлома поперечные скорости сокращаются до 1–3 мм/год.

Максимальное уменьшение поперечного сжатия зафиксировано в области наивысшего подъема к земной поверхности низкодобротного объема земной коры, выявленного на разрезе ММЗ. Это было интерпретировано как результат распирающего действия низкодобротного, более легкого объема земной коры, что вполне соответствует адвективной диапировой модели развития подвижных систем, разработанной в свое время В.В. Белоусовым²⁵.

Результаты спутниково-геодезических измерений на Северном Кавказе использованы и в целях сейсмического прогноза. Так, anomalously малые скорости современных смещений, увязываемые с зонами конкретных активных разломов, рассмотрены как среднесрочный предвестник готовящихся землетрясений [Рогожин и др., 2019б]

ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СМЕЩЕНИЙ ПО РАЗЛОМАМ ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В конце 1990-х — начале 2000-х гг. в связи с оценкой опасности активных разломов для проектируемых магистральных трубопроводов через Северо-Западный Кавказ возникла необходимость изучения современных движений по разломам. Обычно современные тектонические движения изучаются инструментальными геодезическими методами. Привлекаются также данные о подвижках в очагах землетрясений по сейсмологическим данным, результаты повторных космических съемок и некоторых других методов. Но все они представляют собой численные модели, лишь в той или иной степени приближенные к реальным геологическим объектам. Кроме того, для получения геодезических измерений необходимо несколько лет, а сейсмологические материалы представительны только при анализе современных движений в пределах крупных регионов, таких как Кавказ в целом. Методы неотектоники позволяют определить скорости смещений по конкретным разломам. Однако они обычно оперируют деформациями речных или морских террас и других геоморфологических уровней в течение относительно больших промежутков времени, минимум за несколько тысяч лет. Поэтому проблема определения опасных участков, где сосредоточены именно современные тектонические смещения, встала довольно остро, и для ее решения было предложено несколько методических подходов.

²⁵ Белоусов В.В. Большой Кавказ как тектоническая лаборатория // Проблемы геодинамики Кавказа. М.: Наука, 1982. С. 9–13.

Такие исследования проводились при непосредственном участии и под руководством Е.А. Рогожина геологическими методами с привлечением результатов радиоуглеродного датирования современных почв. Для определения величин импульсных смещений при сильных землетрясениях в то время уже использовались результаты тренчинга — изучения приповерхностного строения зон активных разломов в горных выработках. На Кавказе тренчинг успешно рекомендовал себя при изучении палеосейсмогеологической истории сейсморазрыва Спитакского землетрясения, проводившемся при непосредственном участии Е.А. Рогожина, о чем уже было сказано. Однако, помимо прогнозных величин импульсных подвижек, для целей проектирования понадобились и скорости медленных смещений по разломам.

В результате детальных исследований активных разломов Северо-Западного Кавказа было выяснено, что современные медленные смещения по разломам находят выражение в деформациях такого геологического тела, как почвенный покров [Rogozhin et al., 2002; Рогожин, Овсяченко, 2001, 2005]. Разработанная методика направлена на выявление смещений почвенного покрова по разломам в обнажениях или специально пройденных траншеях (рис. 16). Было показано, что скорости современных медленных смещений по разломам, получаемые геологическими методами по деформациям почвенного покрова, в районе имеющих профилей высокоточного повторного нивелирования сопоставимы с геодезическими оценками за последнее примерно 100 лет²⁶. Эта методика была запатентована [Рогожин и др., 2010в]. Полученные результаты имели также и фундаментальную направленность, так как позволили оценить вклад медленной и импульсной (сейсмотектонической) составляющих в общий горообразовательный процесс.

Над разрывами видны деформации подошвы почвенного покрова. Факт повреждения действующего нефтепровода подтверждает современную активность разлома. Амплитуда смещения почвы достигает 15 см. Возраст гумусового горизонта современной почвы составляет от 180 ± 30 лет (обр. ИГАН-2120) до 280 ± 30 лет (обр. ИГАН-2119). Скорость смещений по разлому — 0.5–0.8 мм/год.

²⁶ Овсяченко А.Н. Сейсмотектоника и элементы современной геодинамики Северо-Западного Кавказа по данным палеосейсмогеологических исследований: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ИФЗ РАН, 2006. 172 с.

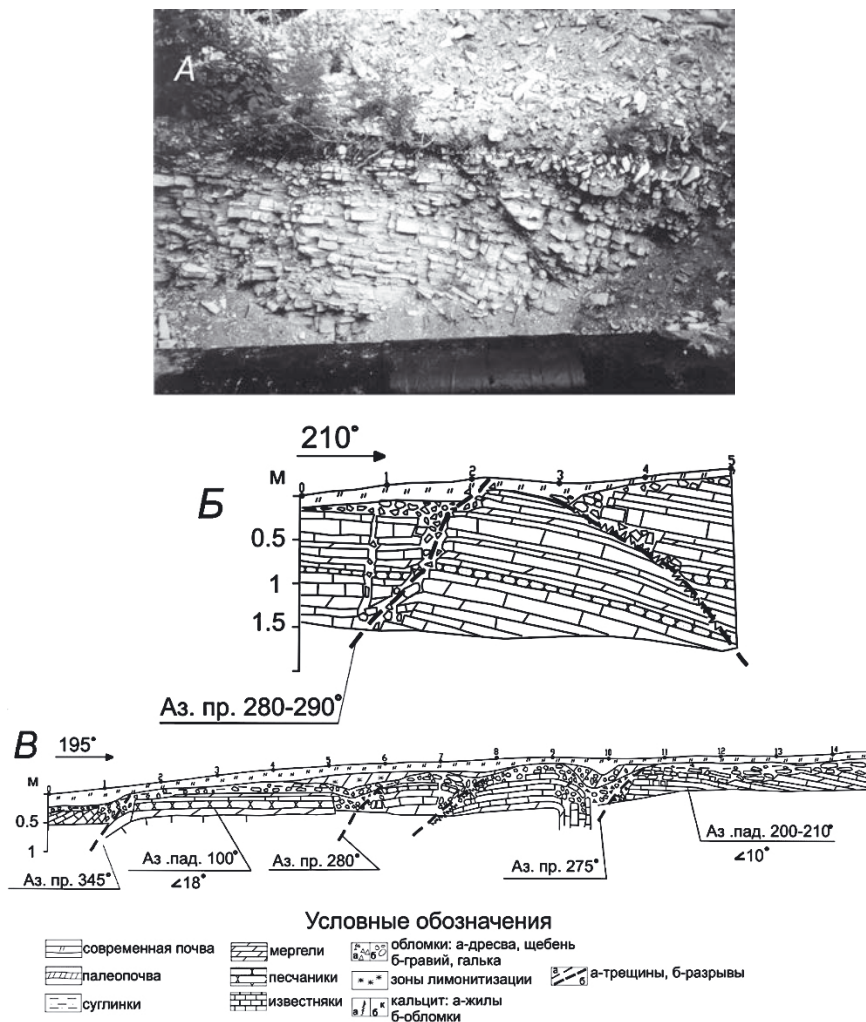


Рис. 16. Пример изучения приповерхностной структуры зоны разлома (Крымск–Новороссийский участок, Малопанасенковский разлом) (по [Рогожин и др., 2010в])

А — фото стенки горной выработки пройденной для ремонта поврежденного участка действующего нефтепровода; Б — зарисовка стенки горной выработки пройденной для ремонта поврежденного нефтепровода; В — зарисовка стенки канавы, пройденной вкрест простирания зоны разлома в 10 м от места ремонта

Использование геолого-геоморфологических методов показало применимость в определении скоростей современных смещений по разломам не только расчетных методов, но и прямых наблюдений, которые являются гораздо более надежными. Между тем эта задача и сейчас многими специалистами считается исключительно геодезической, решаемой только инструментальными методами. Однако полноценная геодезическая или другая инструментальная характеристика современной подвижности разломов имеется далеко не везде — для получения представительных данных необходимо несколько лет, а сроки изысканий под проектирование ответственных сооружений редко превышают один год. Кроме того, природа движений, выявляемых геодезическими методами, далеко не всегда ясна, — геодезические профили крайне редко привязываются к геологическим разрезам с необходимой точностью (в масштабе 1:100 — 1:500, как это делается в исследованиях геологическими методами).

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОТЕКТОНИКИ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ БОЛЬШОГО КAVКАЗА ПОСЛЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ КАТАСТРОФ 1988–1991 гг.

Спитакское и Рачинское землетрясения стали толчком к новому осмыслению роли сейсмотектоники в оценке сейсмической опасности. Стало очевидно, что необходимо определение максимального уровня сейсмичности каким-то независимым от региональной сейсмостатистики путем. В поисках связей между геологическими и сейсмическими явлениями значительная роль отводилась выявлению, калибровке и отбраковке геологических критериев сейсмичности. В этом направлении в ИФЗ РАН исследования велись уже несколько десятилетий И.В. Ананьиним, В.В. Белоусовым, Б.А. Борисовым, В.И. Бунэ, М.В. Гзовским, И.Е. Губиным, И.В. Кирилловой, В.Н. Крестниковым, Б.А. Петрушевским, Г.И. Рейснером, А.А. Сорским, В.Н. Шолпо и др. Постепенно эти исследования приобрели строгое математическое оформление, а одним из главных итогов стала разработка Г.И. Рейснером и др. формализованного «внерегionalного» метода оценки сейсмического потенциала в терминах максимально возможной магнитуды землетрясения — $M_{\max}$. Методика с первыми результатами прогноза $M_{\max}$ для Европейского континента, Кавказа, Средней Азии и смежных территорий была

опубликована в 1993 г.²⁷, однако первые результаты были получены ранее, уже в конце 1980-х гг.²⁸ Это был настоящий научный прорыв.

Суть метода заключается в проведении независимого от сейсмологических данных геодинамического районирования земной коры с привлечением признаков, характеризующих ее современное строение и энергетическое состояние. В основу типизации, т.е. районирования среды, в которой развивается современный сейсмический процесс, положен унифицированный набор данных, равномерно подходящих для разных территорий: плотность теплового потока, мощность земной коры, изостатические аномалии силы тяжести, глубина залегания поверхности консолидированного фундамента, высота и размах рельефа. Типизация земной коры на многопризнаковой основе с использованием алгоритма кластерного анализа привела к картированию отдельных типов коры, рассматриваемых как сеймотектонические обстановки. Эти данные были сопоставлены с каталогами землетрясений, и для каждой сеймотектонической обстановки выявлена своя величина $M_{\max}$, которая прогнозируется на все остальные ячейки определенного типа коры. На этой основе был выполнен прогноз пространственного распределения сейсмического потенциала земной коры в терминах $M_{\max}$. Использована элементарная ячейка размером 20×30 мин градусной сетки (площадь ее равна одному листу топографической карты масштаба 1:100 000). Немаловажным при выборе явилось то обстоятельство, что размеры элементарной ячейки примерно соответствуют размерам сейсмических очагов порядка $M = 5.5-6.5$.

Внерегionalный метод прошел проверку несколькими землетрясениями, произошедшими после разработки прогнозной модели для Кавказа и других регионов: Рачинским (1991 г., $M = 7.0$), Сальским (2001 г., $M = 4.6$), Алтайским (2003 г., $M = 7.3$), Калининградскими (2004 г., $M = 4.6, 4.8$) и Прикаспийским (2008 г., $M = 5.1$) [Рогожин и др., 2011]. Магнитуды этих событий существенно превышали оценки с использованием стандартных сейсмологических методов, но не достигли прогнозных значений по внерегionalному методу. Вместе с тем полученные оценки $M_{\max}$ нельзя считать окончательными. Г.И. Рейснер неоднократно подчеркивал, что возможностей усовершенствования метода множество — дополнение ячеек, оставшихся

²⁷ Рейснер Г.И., Иогансон Л.И., Рейснер М.Г., Баранов Ю.Е. Типизация земной коры и современные геологические процессы. М.: ИФЗ РАН, 1993. 207 с.

²⁸ Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Земная кора и зоны возникновения ожидаемых землетрясений Крымско-Кавказского региона. М.: ИФЗ АН СССР, 1991. 86 с.

пустыми из-за слабой изученности, развитие исходного списка анализируемых параметров, пополнение каталога землетрясений и др. Так, в последней версии расчетов для Кавказа каталог землетрясений был дополнен данными о палеоземлетрясениях, что существенно повысило оценки $M_{\max}$ ²⁹.

С участием, а позже и под руководством Е.А. Рогожина применительно к Кавказу оценки $M_{\max}$ нашли приложение в практике долгосрочного сейсмического прогноза [Reisner et al., 2000; Рогожин и др., 2001б, 2005б; Рогожин, 2002]. В рамках концепции сейсмических очагов как устойчивых сейсмогенерирующих структур, в которых повторяются сейсмические подвижки, определяемые региональным полем напряжений, карты ячеек $M_{\max}$ были сопоставлены с данными о региональной сейсмотектонике. На этой основе выявлены ориентированные в пространстве потенциальные очаги землетрясений, имеющие конкретные геологические параметры (рис. 17). В задачах прогноза землетрясений с использованием такого подхода были сформулированы представления об очаге как динамической структуре с присущими ей свойствами развития, фиксируемые признаки которого являются предвестниками готовящегося крупного сейсмического события [Рогожин и др., 2011].

Метод выделения потенциальных очагов землетрясений нашел реализацию в работах по детальному сейсмическому районированию Ставропольского края в середине 1990-х гг., позволивших сделать вывод о возможности возникновения здесь землетрясений магнитудами от 4.2–4.6 на Ставропольском своде до 6–6.5 на Минераловодском выступе [Рогожин и др., 1998; Нечаев и др., 1998]. При этом, учитывая неблагоприятные грунтовые и другие инженерно-геологические условия, ухудшившиеся здесь в начале 1990-х гг. за счет резкого повсеместного подъема уровня грунтовых вод, сделан вывод, что такое землетрясение вызовет усиление уже и так активизировавшихся гравитационно-склоновых процессов — оползней. Кроме активизации оползней на большой территории и изменения инженерно-гидрогеологическим условий, было отмечено усиление дифференцированного роста Ставропольского поднятия по дан-

²⁹ Никонов А.А., Рейснер Г.И. Оценка сейсмического потенциала Кавказа с учетом палеосейсмических и сейсмотектонических данных // Катастрофические процессы и их влияние на природную среду. Т. 2. Сейсмичность. М.: ИФЗ РАН, 2002. С. 381–401.

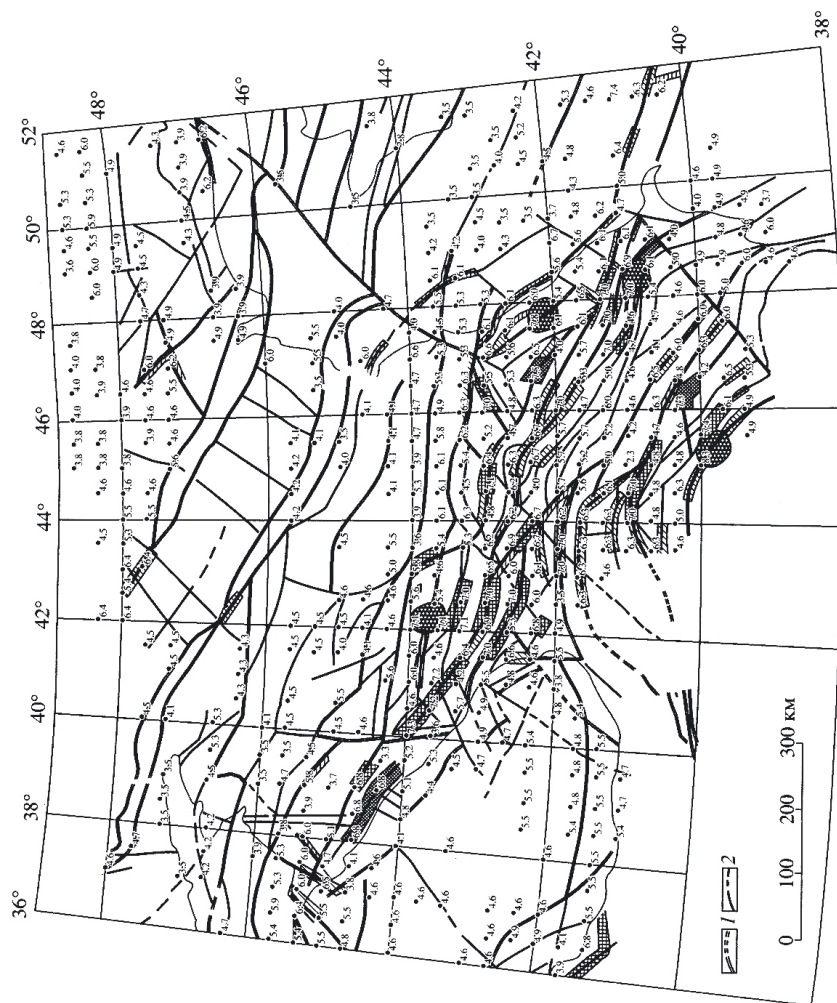


Рис. 17. Оценка максимальных магнитуд ожидаемых землетрясений по данным внерегионального метода и потенциальные очаги землетрясений Кавказа [Рогожин и др., 20016; Рогожин, 2002; Рогожин и др., 2014a]

1–2 — разломы: 1 — региональные, 2 — локальные. Точками с числами обозначены левые верхние углы элементарных ячеек размером $20 \times 30'$ градусной сетки с оценкой $M_{\max}$ для данной ячейки; пустые ячейки — участки, для которых по тем или иным причинам сейсмический потенциал не был установлен; заштрихованы — потенциальные очаги землетрясений с соответствующей $M_{\max}$

ным повторного нивелирования. В качестве наиболее вероятной причины рассмотрено изменение напряженно-деформированного состояния земной коры в результате деформационной волны, породившей Спитакское и Рачинское землетрясения и докатившейся вдоль Транскавказского поперечного поднятия до ее северного окончания — Ставропольского поднятия [Рогожин и др., 1994].

Работы на Ставропольском поднятии были продолжены в середине 2000-х гг. [Лутиков и др., 2008]. Зоны возможных очагов землетрясений (ВОЗ) были выделены с использованием собранных данных об активной тектонике, а их сейсмический потенциал оценен по результатам внерегионального метода. Серия землетрясений (Верхне-Янкульское (1999 г., $M = 4.4$, $I_0 = 6-7$ баллов), Суворовское (2006 г., $M = 4.1$, $I_0 = 5-6$ баллов), Заветненское (2012 г., $M = 4.0$, $I_0 = 5$ баллов) и Воровсколеское (2012 г., $M = 3.8$, $I_0 = 4$ балла)), произошедших на Ставропольском поднятии и в его окрестностях, показала соответствие сделанных прогнозных оценок магнитудам происходящих землетрясений (рис. 18).

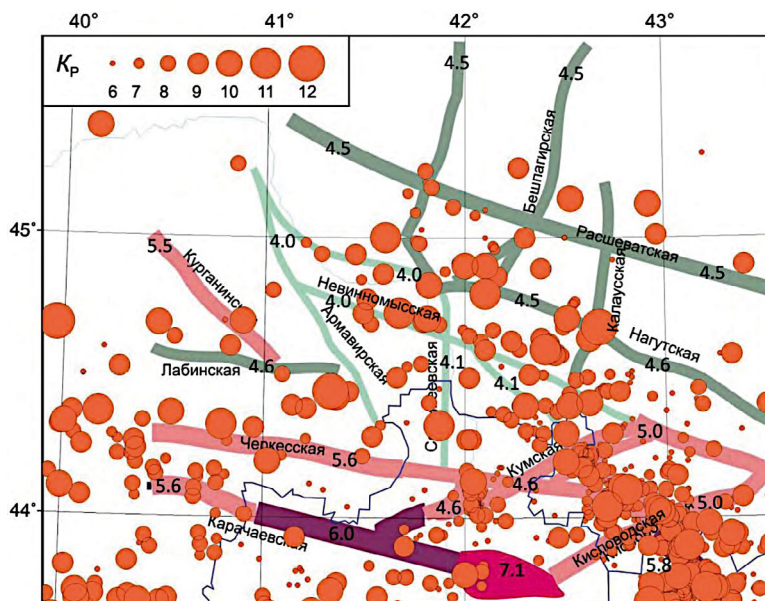


Рис. 18. Сейсмичность Центрального Предкавказья и Северного склона Кавказа в 1992–2012 гг. на фоне выделенных зон ВОЗ (по [Лутиков и др., 2008]) по данным ЕГС РАН

ПАЛЕОСЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

В конце 1990-х гг. Е.А. Рогожиным была начата проверка полученных внерегиональным методом оценок $M_{\max}$ с использованием палеосейсмогеологических и структурно-геологических методов [Рогожин и др., 2001б; Рогожин, Овсяченко, 2001; Рогожин, 2002; Rogozhin et al., 2002]. По данным внерегионального метода на Большом Кавказе был выявлен ряд потенциальных очагов высокомагнитудных землетрясений. В первую очередь вызвали практический интерес потенциальные очаги, которые могут привести к катастрофическим последствиям. Так, на Южном склоне и в Осевой зоне Северо-Западного Кавказа были выявлены потенциальные очаги с $M_{\max} = 6.5-6.8$, восточнее, в верховьях р. Мзымта и Бол. Лаба в Осевой зоне Западного Кавказа — потенциальные очаги с $M_{\max} = 7.2-7.3$, в районе вулканической горы Эльбрус обнаружен очаг с $M_{\max} = 7.2$, в Северной Осетии в зоне Владикавказского глубинного разлома, разломов Главного Кавказского хребта и Бокового хребта — потенциальные очаги с $M_{\max} = 6.2-7.1$, в Дагестане — Андийский с $M_{\max} = 7.0$ (см. рис. 17).

Имеющиеся к середине 1990-х гг. параметризованные данные о следах древних землетрясений (палеосейсмодислокациях) на Большом Кавказе были весьма ограничены и получены в основном в 1970-х гг. группой исследователей под руководством В.П. Солоненко³⁰. К середине 1990-х гг. также стали известны палеосейсмодислокации в эпицентральных зонах современных землетрясений — Дагестанского 1970 г., Спитакского 1988 г. и Рачинского 1991 г., но они были недостаточно изучены — за исключением Спитакского сейсморазрыва определения силы и возраста землетрясений отсутствовали (рис. 19).

Стала очевидной крайне низкая сейсмотектоническая изученность Большого Кавказа. Во многом по этой причине детальные работы по оценке тектонической и сейсмической опасности приняли массовый характер. Они сопровождались широким применением тренчинга на активных разломах и в меньшей степени — изучением сейсмогравитационных образований.

³⁰ Хромовских В.С., Солоненко В.П., Семенов Р.М., Жилкин В.М. Палеосейсмогеология Большого Кавказа. М.: Наука, 1979. 188 с.

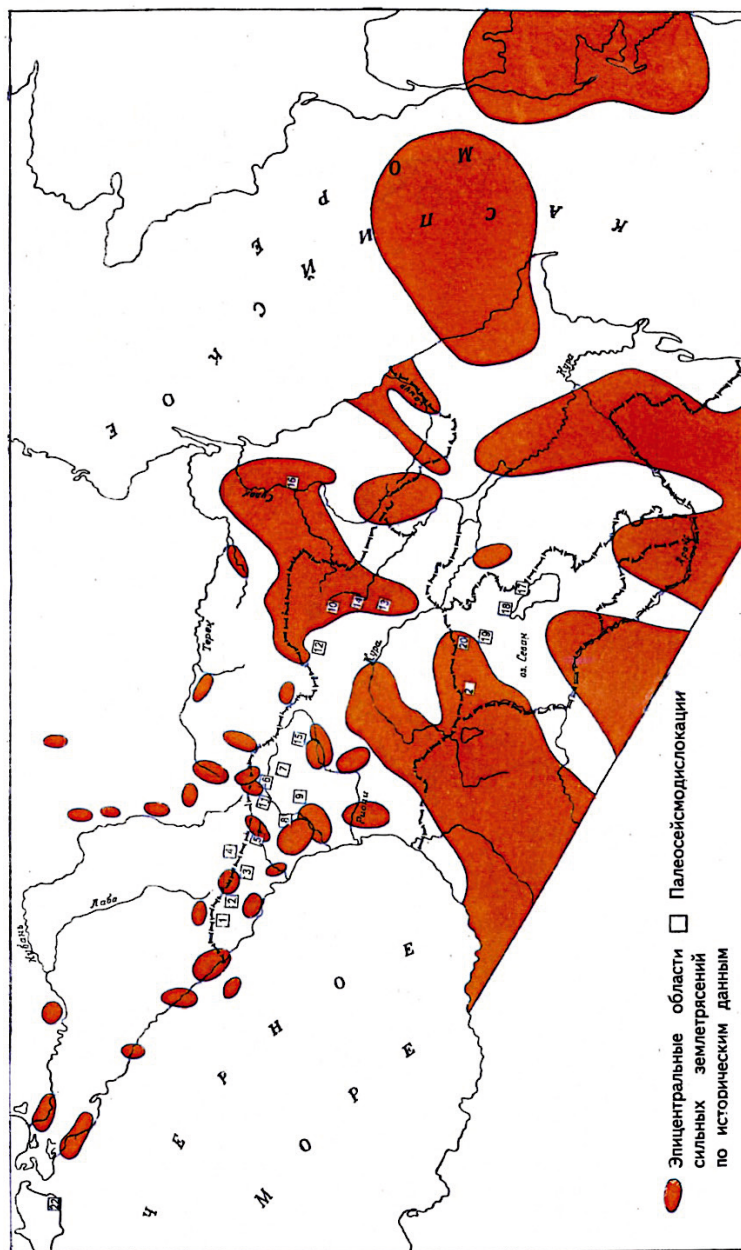


Рис. 19. Суммарные изосейсты сильных землетрясений и палеосейсмодислокации Кавказа [Атлас..., 1995]. Палеосейсмодислокации: 1 — Бзыбь, 2 — Ненскра, 3 — Абакура, 4 — Лабскалди, 5 — Цери, 6 — Квира, 7 — Акиба, 8 — Амткел, 9 — Гоби, 10 — Казбеги, 11 — Лараквакха, 12 — Шкмери, 13 — Борбало, 14 — Квайси, 15 — Ладжанури, 16 — Сулак, 17 — Севан, 18 — Дилижан, 19 — Амассия, 20 — Спитак, 21 — Марали, 22 — Керченская

Необходимость в специальных сейсмотектонических исследованиях в первую очередь возникла в связи с возведением множества ответственных сооружений, прежде всего на Северо-Западном Кавказе (трубопроводы высокого давления КТК, «Голубой поток», «Южный поток», Джубга–Сочи и др., автодорожные тоннели и эстакады, крупные заводы, электростанции, ответственные административные здания, объекты зимней Олимпиады 2014 г. в Сочи) [Рогожин и др., 2001б, 2008а, 2009б; Рогожин, Овсяченко, 2001, 2005; Рогожин, 2002; Rogozhin et al., 2002; Несмеянов и др., 2004]. В ходе исследований широко применялась проходка горных выработок через формы рельефа, выделенные по данным неоструктурного районирования³¹ и результатам дешифрирования материалов дистанционного зондирования в качестве зон активных тектонических нарушений. В конце 1990-х — начале 2000-х гг., все эти потенциальные сейсмогенерирующие структуры были изучены без пропусков на двух полных пересечениях Северо-Западного Кавказа: Горячий Ключ–Джубга и Крымск–Новороссийск. В зонах Семигорского и Бабичевского разломов продольной ориентировки обнаружены сейсмотектонические разрывы древних землетрясений, оценки магнитуд которых (6.5–6.7) соответствуют прогнозным по данным внерегионального сейсмотектонического метода для Осевой зоны Северо-Западного Кавказа ($M_{\max} = 6.8$). Период повторяемости сильнейших землетрясений за последние 8500 лет составляет примерно 1300–1500 лет. На Северном склоне, где был спрогнозирован гораздо более низкий сейсмический потенциал (3.7–5.1), следов сильных землетрясений выявлено не было.

Изучение активных разломов Северо-Западного Кавказа было продолжено еще на двух полных пересечениях — Абинск–Кабардинка и Крымск–Анапа [Рогожин и др., 2014а; Овсяченко и др., 2019]. Результаты этих многолетних исследований позволили составить карту очагов палеоземлетрясений (рис. 20).

Хронология сильных землетрясений Северо-Западного Кавказа была уточнена как новыми датировками, так и калибровкой ранее полученных дат. Естественно, выявлены были далеко не все палеоземлетрясения, однако результаты исследований показали, что очаги сильных землетрясений, магнитуда которых не превышала 7.0,

³¹ Хромовских В.С., Солоненко В.П., Семенов Р.М., Жилкин В.М. Палеосейсмогеология Большого Кавказа. М.: Наука, 1979. 188 с.

сосредоточены вдоль Осовой зоны и Южного склона Северо-Западного Кавказа. Позже был изучен потенциальный сейсмический очаг с $M_{\max} = 6.8$ на границе Северо-Западного Кавказа с предгорным прогибом в долине р. Пшиш, где также были обнаружены следы сопоставимых по магнитуде сильных землетрясений в зоне Ахтырского разлома.

В связи с планируемой зимней Олимпиадой-2014 и развитием соответствующей инфраструктуры палеосейсмологические исследования выполнены в районе Сочи — Красная Поляна [Рогожин и др., 2008г, 2010а, б, 2014а; Овсяченко и др., 2013]. Здесь был выявлен потенциальный очаг с $M_{\max} = 7.3$. В осевом депрессионном понижении в верховьях р. Мзымта были изучены и продатированы периоды сильных сейсмических активизаций, произошедших 3100–4000 и 700–1200 лет назад. Эти данные были соотнесены с результатами, полученными в ходе археологических раскопок [Овсяченко и др., 2016]. Оказалось, что периоды сейсмических активизаций совпали с этапами оставления данной территории людьми, что позволяет по-новому интерпретировать причины резких изменений в историческом развитии.

Эти и последующие исследования древних землетрясений стали выполняться уже с равноценным использованием дистанционных, архео- и историко-сейсмологического методов как на Северо-Западном, так и на Восточном Кавказе [Овсяченко и др., 2012, 2017а, б, 2019а, 2020б; Корженков и др., 2019, 2020; Гмыря и др., 2019].

Необходимость палеосейсмологических исследований стала очевидной не только исключительно в прикладных целях, но и применительно к конкретным проектируемым объектам ответственного и сложного строительства. На Центральном Кавказе, в Приэльбрусье и Горной Осетии, были изучены вопросы взаимосвязи сильных сейсмических активизаций с другими природными катастрофами — извержениями вулканов и сходом ледово-каменных лавин.

Взаимосвязь сильных сейсмических и вулканических активизаций изучена в Приэльбрусье [Богатиков и др., 2003; Rogozhin et al., 2004; Рогожин и др., 2008б]. Размеры зон распространения изученных разновозрастных сейсмодислокаций в целом соответствуют размерам плейстосейстовой области землетрясений с $M_w = 7.0$ и коровым положением очага. Полученная летопись сильных землетрясений Приэльбрусья позволила сделать выводы о соотношении проявлений вулканизма и сейсмичности в долгосрочном аспекте (рис. 21). Для объяснения зафиксированного отсутствия синфазно-

◀ Рис. 20. Сейсмотектоническая схема Северо-Западного Кавказа (по [Лутиков и др., 2019])

1 — сбросо-сдвиги и сбросы: С — Семигорский (бергштрихи направлены в сторону опущенного крыла); 2 — взбросы и надвиги: Чн — Черноморский (бергштрихи направлены в сторону поднятого крыла); 3 — преимущественно сдвиги; 4 — флексурно-разрывные зоны: Ан — Анапская, Ах — Ахтырская (бергштрихи направлены в сторону опущенного крыла); 5 — разломы по косвенным данным; 6 — положение траншей (1 — Кузнецовский разлом; 2 — скальный блок-оползень; 3 — Бабичевский разлом; 4 — Новороссийская зона разломов); 7 — сейсмодислокации вторичного (сейсмогравитационного) и промежуточного (гравитационно-сейсмотектонического) типов; 8 — приблизительные контуры очагов палеоземлетрясений, восстанавливаемые по палеосейсмогеологическим и структурно-геоморфологическим данным с указанием их названия, оценки магнитуд и возраста (лет назад, калиброванный радиоуглеродный возраст). Кроме очагов палеоземлетрясений показаны эпицентры землетрясений за последние примерно 200 лет и основные активные геологические структуры

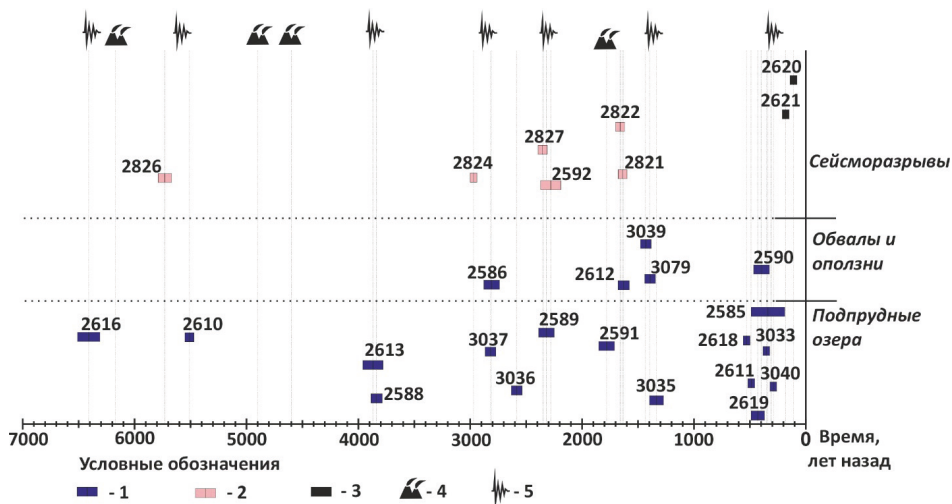


Рис. 21. График проявлений разных типов палеосейсмодислокаций Приэльбрусья во времени (по [Рогожин и др., 2008б, 2014а])

1–3 — датировки радиоуглеродной лабораторий Института географии РАН: 1 — нижняя возрастная граница сейсмического события; 2 — возраст дислокаций, возникших в момент землетрясения; 3 — возраст современных почв; 4 — циклы вулканической активности; 5 — древние землетрясения

сти в активизациях вулканизма и сейсмичности предложена схема периодической смены обстановки сжатия–растяжения в литосфере вулканической области [Рогожин и др., 2014а, 2018а]. Сжатие сопровождается охлаждением земной коры и верхней мантии, что приводит к возможности накопления упругой энергии и возникновения землетрясений. Растяжение открывает каналы для поступления мантийного вещества, прогрев земной коры снижает сейсмическую активность и повышает вулканическую. Напряжений, достаточных для возникновения крупных землетрясений, в прогретой литосфере не накапливается.

Считается, что в настоящее время вулкан Эльбрус находится в фазе глубокого сейсмического затишья. При этом данные, полученные методом микросейсмического зондирования, показали, что под этим вулканом находится выраженная вулканическая система с непрерывными каналами от мантии до верхних горизонтов коры [Рогожин и др., 2016, 2018а; Горбатиков и др., 2018]. Полученные результаты позволили выдвинуть предположение о том, что вулкан Эльбрус в настоящее время находится в активной вулканической фазе.

В Северной Осетии исследования были сосредоточены в зоне Владикавказского разлома и в северной части Казбек-Джигарайхохского горного узла. Зона Владикавказского разлома расположена на границе Предкавказского прогиба и Большого Кавказа. Здесь был выделен потенциальный очаг с $M_{\max} = 6.4\text{--}7.1$. Выразительные сеймотектонические деформации молодых отложений [Овсяченко и др., 2008] и отчетливое проявление зоны Владикавказского разлома на глубине по сейсмическим данным [Горбатиков и др., 2010; Овсяченко и др., 2011] позволяют уверенно считать ее крупной сейсмогенерирующей структурой. Была определена магнитуда двух последних древних сейсмических событий, датированных примерно 700–900 и 1000–1400 лет назад — $M_w = 6.4\text{--}6.7$.

В северной части Казбек-Джигарайхохского горного узла был выделен потенциальный очаг с $M_{\max} = 6.2\text{--}6.3$. Согласно собранным данным сильные землетрясения здесь происходили примерно 9500, 8000, 7500, 6700, 5900, 3600 и 2300 лет назад [Рогожин и др., 2004, 2005а, 2008в, 2014а]. То есть за голоцен имеются сведения по крайней мере о семи сейсмических событиях, магнитуда которых превысила прогнозные оценки — $M_w = 6.5\text{--}7.0$. Средний период повторяемости составляет примерно 1400–1500 лет.

Сейсмическое событие около 6700 лет назад практически синхронно с последним известным извержением вулкана Казбек. Это же событие и еще одно — 5900 лет назад, оказались синхронны с ледово-каменными лавинами. Казбекский вулканический центр увенчан ледниковым массивом, также неоднократно служившим причиной разрушительных природных катастроф. Самая известная из них — Кармадонская 2002 г., порожденная ледником Колка. Этот ледник, превратившись в ледово-каменную лавину, стремительно пронесся 19 км вниз по долине р. Геналдон, сметая все на своем пути и остановившись у ущелья Скалистого хребта. Там же были выявлены и датированы остатки нескольких древних ледово-каменных лавин. Датировки были получены для двух из них, и они совпали с сейсмическими активизациями 5900 и 6700 лет назад.³²

В 2009–2010 гг. в связи с возникновением Онийского-II землетрясения на Южном склоне Большого Кавказа удалось выполнить палеосейсмологическое изучение и абсолютное датирование сейсмодислокаций, оставленных палеоземлетрясениями в юго-осетинском секторе эпицентральной зоны Рачинского землетрясения 1991 г. Все они, как и в 1991 г., имели сейсмогравитационный характер (оползни, оползне-обвалы, каменные лавины, подпрудные озера). Выяснилось, что в том же очаге в голоцене были две крупномасштабные сейсмические активизации [Рогожин и др., 2014а]. Приблизительная продолжительность среднеголоценовой активизации — 2300 лет (произошла 5000–7300 лет назад). Позднеголоценовая активизация, охватывающая и Рачинское землетрясение 1991 г., продолжается около 1600 лет. Предыдущее событие, подобное Рачинскому землетрясению 1991 г., произошло примерно 1100–1600 лет назад.

Проведенные исследования высветили многие нерешенные вопросы сейсмичности Кавказа, касающиеся связи сейсмических очагов с тектонической структурой региона, магнитудного уровня и периода повторяемости сильных землетрясений (рис. 22). Исследования также позволили на конкретных примерах выявить взаимосвязи различных катастрофических природных событий между собой и с вехами исторического развития человеческих сообществ.

³² Хромовских В.С., Солоненко В.П., Семенов Р.М., Жилкин В.М. Палеосейсмогеология Большого Кавказа. М.: Наука, 1979. 188 с.

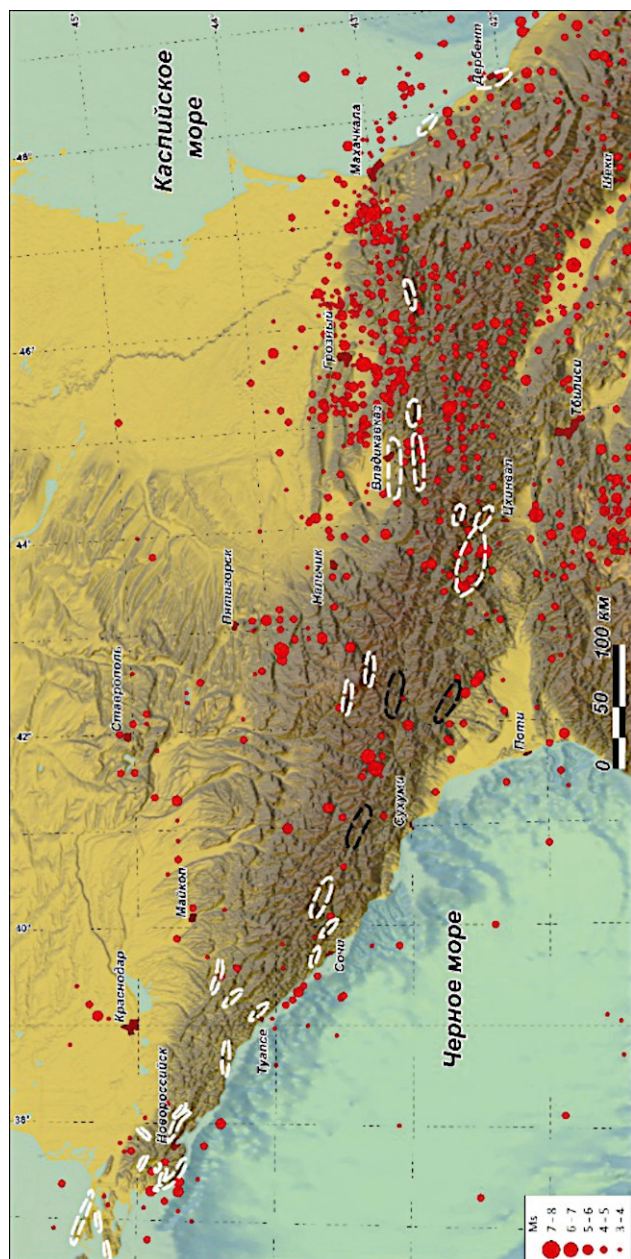


Рис. 22. Сейсмичность инструментального этапа наблюдений и параметризованные очаги палеоземлетрясений Большого Кавказа
Белые линии — районы исследований под руководством Е.А. Рогожина; черные линии — районы исследований под руководством В.П. Солоненко

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ И СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА

Разноплановые региональные сейсмотектонические исследования имели четкую направленность и последовательно сложились в серию сейсмотектонических моделей для всего Большого Кавказа. В них были заложены параметры, необходимые для оценки сейсмической опасности: положение, кинематика подвижки в очаге, его глубина и прогнозная магнитуда. Региональные сейсмотектонические модели были объединены для разработки карты детального сейсмического районирования (ДСР) Северного Кавказа [Рогожин и др., 2014а]. Работы имели обобщающий характер и были выполнены в 2010-х гг. в рамках двух крупных проектов, инициированных и возглавленных Е.А. Рогожиным: «Разработка детальной карты нового поколения оценки сейсмических рисков территории Северо-Кавказского федерального округа» и «Оценка экономического и социального ущерба от опасных природных процессов для Северо-Западного и Центрального Кавказа на основе разработки новых карт детального сейсмического районирования и риска» [Лутиков и др., 2008, 2013, 2019; Рогожин и др., 2013а, 2014а, 2019г; Акимов и др., 2019а, б].

Одной из первых с использованием палеосейсмологических данных была создана карта зон ВОЗ Северной Осетии [Рогожин, 2007; 2009; Рогожин и др., 2008]. Она стала основой для вероятностных карт сейсмической опасности Республики Северная Осетия – Алания в масштабе 1 : 200 000 с вероятностью превышения 2%, 5%, 10% для периода 50 лет, которые соответствуют периоду повторяемости 2500, 1000 и 500 лет соответственно [Заалишвили, Рогожин, 2010]. Вероятностные карты сейсмической опасности созданы как в баллах шкалы MSK-64, так и в единицах ускорений [Заалишвили, Рогожин, 2012].

В начале 2010-х гг. вероятностные карты сейсмической опасности были построены для всего Северного Кавказа [Рогожин и др., 2014а]. По аналогии с Общим сейсмическим районированием России ОСР-97³³ оценка сейсмической опасности для объектов разной степени ответственности (за исключением атомных станций) выполнена на трех

³³ Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-97. М. 1:8 000 000: Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 57 с.

уровнях вероятности превышения исходного сейсмического балла за 50 лет, определяемого по макросейсмической шкале MSK-64, — 10% (ДСР-А для объектов с низкой и средней степенью ответственности), 5% (ДСР-В для объектов с повышенной степенью ответственности) и 1% (ДСР-С для особо ответственных объектов) (рис. 23). Уровни вероятности отвечают средним периодам повторяемости соответственно 1 раз в 500, 1000 и 5000 лет.

По сравнению с действующими на тот момент картами ОСР-97 полученные результаты выглядят более дифференцированно, а уровень сейсмической опасности заметно снизился. Уровень сейсмических воздействий достигает 8.5 баллов по картам ДСР-А, В и несколько превышает 9 баллов на небольших участках по карте С. Для сравнения с вероятностными была также построена детерминистская карта сейсмической опасности, дающая максимальное распределение балльности. Практически вся горная часть Северного Кавказа, относится к зоне максимально возможных 9-балльных сотрясений, но не достигает 9.5 баллов.

В этих и всех остальных исследованиях сейсмической опасности Большого Кавказа данные о палеоземлетрясениях использовались для уточнения оценок максимальной магнитуды ($M_{\max}$) зон ВОЗ. Для карт ДСР Северного Кавказа параметры сейсмического режима

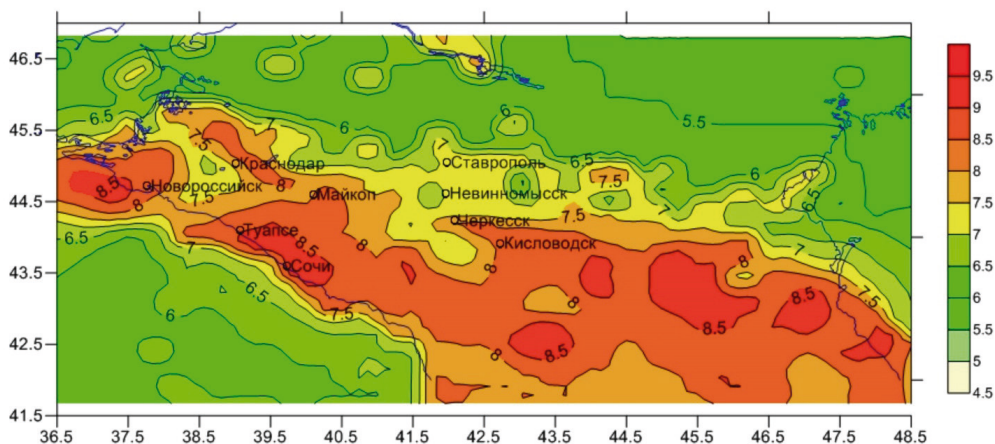


Рис. 23. Карта ДСР-В Северного Кавказа с 5 %-ной вероятностью превышения в течение 50 лет. Средний период повторяемости 1000 лет [Рогожин и др., 2014а]

оценивались с использованием каталога землетрясений, представительного для очень короткого инструментального этапа наблюдений. При этом средняя повторяемость землетрясений магнитудами $M \leq M_{\max}$ определена по величине сейсмической активности $A_{3.3}$ и наклону графика повторяемости.

Относительно хорошая палеосейсмологическая изученность Северо-Западного Кавказа (см. рис. 20) позволила построить первые вероятностные карты сейсмической опасности с учетом повторяемости сильных землетрясений на протяжении голоцена [Лутиков и др., 2019; Рогожин и др., 2019г]. На составленных картах ДСР в северо-западной части региона, где получены представительные данные о силе и возрасте нескольких палеоземлетрясений, уровень сейсмических воздействий достигает 8 баллов по картам А и В (рис. 24). Выполненная работа важна с методической точки зрения, так как палеосейсмологические данные были использованы для прямой оценки сейсмической опасности путем сопоставления с расчетным числом слабых сейсмических событий в соответствии с законом повторяемости магнитуды сильного палеоземлетрясения.

Так, благодаря неустанным усилиям Е.А. Рогожина фундаментальные и прикладные исследования нашли воплощение в решении жизненно важных вопросов оценки сейсмических опасностей.

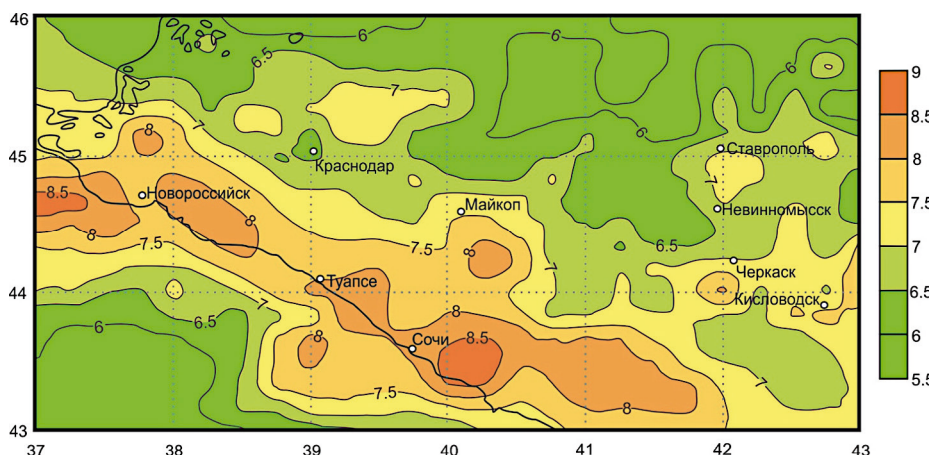


Рис. 24. Карта ДСР-В Северо-Западного Кавказа с учетом палеосейсмологических данных с 5%-ной вероятностью превышения в течение 50 лет. Средний период повторяемости 1000 лет [Лутиков и др., 2019].

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Евгений Александрович Рогожин без всякого преувеличения — крупнейший специалист в вопросах геодинамики, сейсмотектоники и сейсмической опасности Кавказа. Работы с его участием затрагивают развитие всех основных сторон перечисленных направлений. В итоге очерк о роли конкретного ученого превратился в настоящую панораму изученности сейсмотектоники, сейсмической опасности и геодинамики Кавказа. Результаты исследований приведены очень кратко и только на примере Кавказа, иначе очерк рисковал превратиться в толстую книгу. Подобные, но несколько менее содержательные очерки можно написать про исследования Тянь-Шаня, Копет-Дага, Алтае-Саянского региона, Сахалина, Курило-Камчатской дуги, Гималаев, Загроса, Балкан-Альп-Апеннин, Русской платформы...

Основные результаты и методические подходы суммированы в таком виде, который, на мой взгляд, может дать им новую жизнь. Прежде всего, сделанный обзор показывает большую самобытность творчества Е.А. Рогожина и научных тем, в которых он принимал участие. Надо сказать, что используемые или привлекаемые им методы иногда были настолько нестандартны, что попросту выбивали некоторых современников из колеи. И в то же время, эта «самобытность» имеет глубокие корни в наследии В.В. Белоусова и его соратников в частности, а в целом — в общей направленности крупнейшего геофизического института — ИФЗ РАН, в котором Е.А. Рогожин проработал начиная с окончания МГУ в 1971 г. Оказываясь иногда в стороне от основных геологических парадигм современности, он всегда находил весьма многочисленные точки соприкосновения с научным сообществом, постоянно принимал участие в многочисленных, очень разных в методическом отношении фундаментальных и прикладных исследованиях, а на протяжении последних 20–30 лет зачастую и сам руководил ими. Упомянутая самобытность Е.А. Рогожина стала причиной оригинальности и плодотворности многих идей и подходов. Именно поэтому рассмотренные результаты наверняка будут востребованы, но уже в совсем других, возможно, не узнаваемых воплощениях, на уровне принципиально иных возможностей современных цифровых технологий.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ТРУДОВ Е.А. РОГОЖИНА

- Рогожин Е.А., Яковлев Ф.Л.* Опыт количественной оценки морфологии складчатости Тфанской зоны Большого Кавказа // Геотектоника. 1983. № 3. С. 87–98.
- Видяпин Ю.П., Рогожин Е.А., Сомин М.Л.* Альпийская складчатость в Краснополянском пересечении осевой области Большого Кавказа // Тез. докл. VI краевой конф. по геол. и полез. ископ. Северного Кавказа. Ессентуки, 1985. С. 135–136.
- Рогожин Е.А.* Качественный и количественный анализ морфологической изменчивости полной складчатости // Неоднородность тектоносферы и развитие земной коры. М.: Недра, 1986. С. 78–93.
- Видяпин Ю.П., Рогожин Е.А., Сомин М.Л.* О наложенных складчатых деформациях в юрских толщах Большого Кавказа // Сообщ. АН ГССР. 1986. Т. 122. № 3. С. 553–556.
- Рогожин Е.А.* Морфологическая неоднородность полной складчатости как показатель механизма складкообразования // Строение и эволюция тектоносферы. М.: ИФЗ АН СССР, 1987. С. 107–133.
- Гасанов А.Г., Рогожин Е.А., Мамедов (Маммадли) Т.Я., Славина Л.Б.* Тектонический контроль слабой сейсмичности восточной части Большого Кавказа // Изв. АН АзССР. Серия наук о Земле. 1987. № 1. С. 20–27.
- Рогожин Е.А., Борисов Б.А., Рейснер Г.И., Шолпо В.Н.* Геологические условия возникновения очагов сильных землетрясений Средиземноморского альпийского пояса // Строение и эволюция тектоносферы. М.: ИФЗ АН СССР, 1987. С. 133–150.
- Рогожин Е.А.* Количественная оценка морфологической неоднородности полной складчатости Большого Кавказа // Докл. АН СССР. 1988. Т. 299. № 6. С. 1457–1460.
- Рогожин Е.А., Рейснер Г.И., Мамедов Т.Я.* Поперечная зональность Восточной части Большого Кавказа // Исследование сейсмической опасности. Вопросы инженерной сейсмологии. 1988. Вып. 29. С. 15–20.
- Рогожин Е.А., Шолпо В.Н.* Неоднородность зоны полной складчатости Большого Кавказа // Геотектоника. 1988. № 5. С. 79–93.
- Мамедов (Маммадли) Т.Я., Рогожин Е.А.* Сейсмический режим восточной части Большого Кавказа и его связь с геологическим строением // Оценка эффекта сильных землетрясений. Вопросы инженерной сейсмологии. 1989. Вып. 30. С. 20–27.
- Борисов Б.А., Рогожин Е.А.* Сейсмогенный разрыв // Природа. 1989. № 2. С. 26–31.

- Рогожин Е.А., Шолпо В.Н. Особенности внутреннего строения зоны полной складчатости Большого Кавказа // Геодинамика Кавказа. М.: Наука, 1989. № 5. С. 15–28.
- Cisternas A., Philip H., Bousquet J.C., Cara M., Deschamps A., Dorbath L., Dorbath C., Haessler H., Jimenez E., Nercessian A., Rivera L., Romanowicz B., Gvishiani A., Shebalin N.V., Aptekman I., Arefiev S., Borisov B.A., Gorshkov A., Graizer V., Lander A., Pletnev K., Rogozhin E.A., Tatevossian R. The Spitak (Armenia) earthquake of 7 December 1988: field observations, seismology and tectonics // Nature. 1989. V. 339, N 6227. P. 675–679.
- Рогожин Е.А. Тектоника очаговых зон сильных континентальных землетрясений (на примере юга СССР и Западного Средиземноморья): Дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М.: ИФЗ РАН, 1990. 511 с.
- Албаредо Ф., Богачкин Б.М., Олейник А.Э., Рогожин Е.А., Рыбаков Л.М., Филип Э. О доисторическом сильном землетрясении в районе г. Спитак (Северная Армения) // Докл. АН СССР. 1990. Т. 313, № 2. С. 397–400.
- Рогожин Е.А., Рыбаков Л.М. Тектоническая позиция и геологическое проявление Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г // Геотектоника. 1990. № 6. С. 32–45.
- Рогожин Е.А., Рыбаков Л.Н., Борисов Б.А. Сейсмодислокации Спитакского землетрясения // Докл. АН СССР. 1990а. Т. 311, № 2. С. 435–439.
- Рогожин Е.А., Рыбаков Л.Н., Богачкин Б.М. Сейсмореформации земной поверхности при Спитакском землетрясении 1988 г // Геоморфология. 1990б. № 3. С. 8–19.
- Нечаев Ю.В., Рогожин Е.А. Анализ тектонической раздробленности очаговой области Спитакского землетрясения 1988 г. // Докл. АН СССР. 1991. Т. 320, № 6. С. 1441–1445.
- Рогожин Е.А., Рыбаков Л.Н., Богачкин Б.М., Борисов Б.А. Поверхностные нарушения, отражающие характер подвижки в очаге Спитакского землетрясения // Комплексная оценка сейсмической опасности. Вопросы инженерной сейсмологии. 1991а. Вып. 32. С. 45–59.
- Рогожин Е.А., Борисов Б.А., Богачкин Б.М. Рачинское землетрясение (Грузия, 29 апреля 1991 г.): Материалы геологического обследования // Докл. АН СССР. 1991б. Т. 321, № 2. С. 353–358.
- Рогожин Е.А., Филип Э. Геолого-тектоническое изучение очаговой зоны Спитакского землетрясения // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1991. № 11. С. 3–17.
- Богачкин Б.М., Рогожин Е.А. Каменные лавины на южном склоне Большого Кавказа — результат Рачинского землетрясения // Докл. РАН. 1992. Т. 327, № 3. С. 315–321.

- Богачкин Б.М., Борисов Б.А., Рогожин Е.А. Рачинское землетрясение 29 апреля 1991г.: Результаты геологического обследования // Физика Земли. 1992. № 8. С. 12–23.
- Philip H., Rogozhin E., Cisternas A., Bousquet J.C., Borisov B., Karakhanian A. The Armenian earthquake of 1988 December 7: Faulting and folding, neotectonics and palaeoseismicity // Geophys. J. Inter. 1992. Vol. 110, N 1. P. 141–158.
- Джибсон Р., Прентис К., Филип Э., Рогожин Е.А., Борисов Б.А. Нарушения грунта, вызванные Рачинским землетрясением 29 апреля 1991 г // Вопросы инженерной сейсмологии. 1993. № 34. С. 123.
- Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В., Рогожин Е.А., Хованский Б.Н., Язев П.Н. Использование материалов аэрокосмических съемок при изучении эпицентральной зоны Рачинского землетрясения 1991 года на Кавказе // Исследования Земли из космоса. 1993а. № 6. С. 94–100.
- Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В., Рогожин Е.А., Хованский Б.Н., Язев П.Н. Результаты совместного анализа наземной и аэрокосмической информации при изучении эпицентральных зон сильных землетрясений (на примере Рачинского землетрясения 1991 г.) // Геоморфология. 1993б. № 4. С. 48–60.
- Нечаев Ю.В., Рогожин Е.А., Богачкин Б.М. Особенности проявления Рачинского землетрясения (1991) в поле тектонической раздробленности (по космическим данным) // Физика Земли. 1993. № 3. С. 64–69.
- Рогожин Е.А. Барисахское землетрясение 1992 г. на южном склоне Большого Кавказа: Тектоническая позиция очага // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М.: ИФЗ РАН, 1993а. С. 148–151.
- Рогожин Е.А. Тектоника очаговых зон сильных внутриконтинентальных землетрясений // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М.: ИФЗ РАН, 1993б. Вып. 1. С. 217–227.
- Рогожин Е.А., Богачкин Б.М. Альпийская и новейшая тектоника района Рачинского землетрясения // Физика Земли. 1993а. № 3. С. 3–11.
- Рогожин Е.А., Богачкин Б.М. Природа сейсмической активности Кавказа // Природа. 1993б. № 4. С. 32.
- Рогожин Е.А., Арефьев С.С., Богачкин Б.М., Систернас А., Филип Э. Комплексный анализ геологических и сейсмологических данных и сейсмотектоническое представление об очаге Рачинского землетрясения // Физика Земли. 1993а. № 3. С. 70–77.
- Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В., Арефьев С.С. Опыт использования материалов изучения вторичных сейсмодислокаций для построения геологической модели очага сильного землетрясения // Докл. РАН. 1993б. Т. 333. № 1. С. 96–100.

- Рогожин Е.А., Богачкин В.М., Нечаев Ю.В. Сейсмотектоническое значение поперечной зональности Северо-Западной части Большого Кавказа // Построение моделей развития сейсмического процесса и предвестников землетрясений. М.: Тр. ОИФЗ РАН, 1993в. Вып. 1. С. 139–148.
- Отчет по темам «Создание трехмерной многопараметрической модели очаговой зоны Дагестанского землетрясения 1970 года» и «Создание объемных моделей очагов Дагестанских землетрясений 1992 года» // Науч. рук. Е.А. Рогожин. М.: Комитет по геологии и использованию недр при Правительстве Российской Федерации; ЦРГИ «Геон»; ОИФЗ РАН, 1993. 88 с.
- Шолпо В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А. Складчатость Большого Кавказа. М.: Наука, 1993. 192 с.
- Рогожин Е.А., Остац О.М., Джибсон Р., Борисов Б.А. Интенсивное оползнеобразование в Ставропольском крае как пример «тихой» природной катастрофы // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Информ.–аналит. бюл. 1994. № 3. С. 55–61.
- Рогожин Е.А., Хованский Б.Н. О прогнозе землетрясений на Кавказе // Вестн. РАН. 1994. Т. 64, № 9. С. 818–820.
- Jibson R.W., Prentice C.S., Borisoff B.A., Rogozhin E.A., Langer C.J. Some observations of landslides triggered by the 29 April 1991 Racha earthquake, Republic of Georgia // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1994. Vol. 84, N 4. P. 963–973.
- Атлас землетрясений Большого Кавказа // Рогожин Е.А., Хованский Б.Н., Арефьев С.С., Аптекман Ж.Я., Богачкин В.М., Евтеева Т.О., Гигелева С.Е., Комаров Л.Г. Летичевская Г.Д., Ломакина И.А., Нечаев Ю.В., Окатов П.А., Язев П.Н. / Под ред. Б.Н. Хованского. М.: Госцентр «Природа», 1995.
- Прилепин М.Т., Баласанян С., Баранова С.М., Гусева Т.В., Мишин А.В., Надария М., Рогожин Е.А., Розенберг Н.К., Сквородкин Ю.П., Хамбургер М., Кинг Р., Рейлингер Р. Изучение кинематики Кавказского региона с использованием GPS-технологии // Физика Земли. 1997. № 6. С. 68–75.
- Gomez J.M., Bukchin B., Madariaga R., Rogozhin E.A. A study of the Barisakho, Georgia, earthquake of 1992 October 23 from broad-band surface and body waves // Geophys. J. Inter. 1997. N 129. P. 613–623.
- Рогожин Е.А., Нечаев Ю.В., Солодилов Л.Н., Исмаил-Заде Т.А. Тенденции развития сейсмичности Кавказа и сейсмогенерирующие зоны Ставрополья // Разведка и охрана недр. 1998. № 2. С. 23–28.
- Нечаев Ю.В., Рейснер Г.И., Рогожин Е.А. Геолого-геофизические и сейсмологические критерии потенциальной сейсмичности Западного Каспия // Разведка и охрана недр. 1998. № 2. С. 13–19.
- Рогожин Е.А. Тектоника очаговых зон сильных землетрясений Северной Евразии конца XX столетия // Рос. журн. наук о Земле. 2000. № 1, Т. 2. С. 37–62.

- Рогожин Е.А., Вигинский В.А., Короновский Н.А. Кавказ // Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии / Под ред. А.Ф. Грачева. М.: ОИФЗ РАН, 2000. С. 66–79.
- Юнга С.Л., Рогожин Е.А. Сейсмичность, механизмы очагов и сейсмотектонические деформации в пределах активных блоков литосферы // Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии. / Под. ред. А.Ф. Грачева. М.: ОИФЗ РАН, 2000. С. 383–420.
- Reisner G.I., Rogozhin E.A., Ioganson L.I. The extraregional method for revealing the sources of expected earthquakes of different M // J. Earthq. Pred. Res. 2000. V. 8, N 2. P. 186–202.
- Золотов Е.Е., Кадури И.Н., Кадурина Л.С., Недядько В.В., Ракитов В.А., Рогожин Е.А., Ляшенко Л.Л. Новые данные о глубинном строении земной коры и сейсмичности Западного Кавказа // Геофизика XXI столетия: 2001 год. М.: Науч. мир, 2001. С. 85–89.
- Рогожин Е.А., Собисевич Л.Е., Нечаев Ю.В., Собисевич А.Л., Богатилов О.А., Гурбанов А.Г., Коваленко В.И., Газеев В.М., Поляк Б.Г., Покровский Б.Г., Лаврушин В.Ю., Куликов В.И., Мелекесцев И.В., Кащук Д.Г., Милуков В.К., Копаев А.В. Геодинамика, сейсмотектоника и вулканизм Северного Кавказа / Под ред. акад. Н.П. Лаверова. М.: ОИФЗ РАН, 2001а. 338 с.
- Рогожин Е.А., Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Оценка сейсмического потенциала Большого Кавказа и Апеннин независимыми методами // Геофизика и математика XXI. Современные математические и геологические модели в задачах прикладной геофизики. М.: ОИФЗ РАН. 2001б. С. 279–299.
- Рогожин Е.А., Овсяченко Н.И. Соотношение геологической и сейсмической составляющих современных тектонических движений на Северо-Западном Кавказе // Тектоника неогена: Общие и региональные аспекты: Материалы XXXIV Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2001. Т. 2. С. 145–148.
- Рогожин Е.А. Современная геодинамика и потенциальные очаги землетрясений Кавказского региона // Современные математические и геологические модели природной среды. М.: ОИФЗ РАН, 2002. С. 244–254.
- Рогожин Е.А., Захарова А.И. Землетрясения голоцена и долговременный сейсмический режим Северо-Западного Кавказа // Вестн. ОИФЗ РАН. № 1 (20), 2002. http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2002/scpub-12.pdf.
- Rogozhin E.A., Yunga S.L., Marakhanov A.V., Ushanova E.A., Ovsyuchenko A.N., Dvoretzkaya N.A. Seismic and tectonic activity of faults on the south slope of the NW Caucasus // Rus. J. Earth Sci. 2002. Vol. 4, N 3. <http://rjes.wdcb.ru/v04/tje02095/tje02095.htm>
- Богатилов О.А., Рогожин Е.А., Гурбанов А.Г., Мараханов А.В., Спиридонов А.В., Шевченко А.В., Бурканов Е.Е. Древние землетрясения и вулканические

- извержения в районе Эльбруса // Докл. Акад. наук. 2003. Т. 390, № 4. С. 511–516.
- Дорбат К., Арефьев С.С., Рогожин Е.А. Глубинная структура очаговой зоны Спитакского землетрясения по сейсмотомографическим данным // Физика Земли. 2004. № 8. С. 41–55.
- Рогожин Е.А., Гурбанов А.Г., Мараханов А.В., Овсяченко А.Н., Спиридонов А.В., Бурканов Е.Е. О соотношении проявлений землетрясений, вулканизма и катастрофических пульсаций ледников Северной Осетии в голоцене // Вестн. Владикавказ. НЦ РАН. 2004. Т. 4, № 3. С. 41–50.
- Rogozhin E.A., Gurbanov A.G., Marakhanov A.V., Ovsyuchenko A.N., Spiridonov A.V., Burkanov E.E. Ancient earthquake dislocations in the area of Elbrus Volcano, North Caucasus // Rus. J. Earth Scie. 2004. Vol. 6, N 4. <http://rjes.wdcb.ru/v06/tje04160/tje04160.htm>
- Несмеянов С.А., Рогожин Е.А., Севостьянов В.В., Воейкова О.А. Прогноз возможных сейсмотектонических смещений по активным разрывам Северо-Западного Кавказа на трассе магистрального трубопровода «Голубой поток» // Геоэкология. 2004. № 4. С. 351–360.
- Рогожин Е.А., Гурбанов А.Г., Мараханов А.В., Овсяченко А.Н., Спиридонов А.В., Бурканов Е.Е. О соотношении проявлений вулканизма и землетрясений на Северном Кавказе в голоцене // Физика Земли. 2005а. № 3. С. 33–47.
- Рогожин Е.А., Рейснер Г.И., Иогансон Л.И., Мараханов А.В., Овсяченко А.Н. Методы детальной количественной оценки сейсмической опасности // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005б. № 5. С. 44–53.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н. Сейсмическая и геологическая активность тектонических нарушений Северо-Западного Кавказа // Физика Земли. 2005. № 6. С. 29–42.
- Арефьев С.С., Рогожин Е.А., Быкова В.В., Дорбат К. Глубинная структура очаговой зоны Рачинского землетрясения по сейсмотомографическим данным // Физика Земли. 2006а. № 1. С. 30–44.
- Арефьев С.С., Рогожин Е.А., Аптекман Ж.Я., Быкова В.В., Дорбат К. Глубинная структура и томографические модели очаговых зон сильных землетрясений // Физика Земли. 2006б. № 10. С. 65–80.
- Рогожин Е.А. Зоны ВОЗ и их характеристики для территории Республики Северная Осетия – Алания // Инновационные технологии для устойчивого развития горных территорий. Материалы VI Междунар. конф. Владикавказ, 2007. С. 283.
- Рогожин Е.А., Габсатарова И.П., Погода Э.В. Зоны ВОЗ и сейсмичность территории Республики Северная Осетия – Алания // Сейсмичность Северной Евразии: Материалы Междун. конф., посвященной 10-летию

- выпуска сб. научн. тр. «Сейсмичность Северной Евразии». Обнинск: ГС РАН, 2008а. С. 243–249.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В. Дислокации сильнейших древних землетрясений Приэльбрусья // Докл. Акад. наук. 2008б. Т. 422, № 1. С. 98–101.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В. Прогноз и картирование сейсмической опасности на Северном Кавказе: Результаты новых исследований // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа. Владикавказ: ВНИЦ РАН, 2008в. С. 20–36.
- Рогожин Е.А. Овсяченко А.Н., Шварев С.В., Лутиков А.И., Новиков С.С. Оценка уровня сейсмической опасности района Большого Сочи в связи со строительством олимпийских объектов // Геориск. 2008. № 4. С. 6–12.
- Лутиков А.И., Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н. Методика оценки сейсмической опасности на стадии уточнения исходной сейсмичности // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Третьей Междунар. сейсмол. школы. Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 81–86.
- Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Новиков С.С., Рогожин Е.А. Зона Владикавказского активного разлома на территории РСО–А // Вестн. Владикавказ. НЦ РАН. 2008. Т. 8, № 3. С. 44–56.
- Рогожин Е.А. Сейсмотектоника центрального сектора Большого Кавказа как основа для сейсмического мониторинга и оценки сейсмической опасности // Вестн. Владикавказ. науч. центра РАН. 2009. Т. 9, № 4. С. 16–22.
- Рогожин Е.А., Арефьев С.С., Мараханов А.В., Овсяченко А.Н., Новиков С.С., Матвеев И.В., Молотков С.Г. Недавнее землетрясение на Центральном Кавказе // Геофизические исследования. 2009а. Т. 10, № 4. С. 64–66.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Парвез И.А. Палеосейсмогеологические исследования в области «сейсмической брешии» на Северо-Западном Кавказе в сравнении с регионом западных Гималаев // Вопросы инженерной сейсмологии. 2009б. Т. 36, № 4. С. 5–12.
- Рогожин Е.А., Нечаев Ю.В., Новиков С.С., Лукашова Р.Н. Способ выбора местоположения трассы магистральных сооружений в сейсмоопасных районах для предотвращения катастрофических последствий от землетрясений. Патент на изобретение № 2364897 от 10.07.2008. Опубл. 20.08.2009. М., 2009в.
- Горбатилов А.В., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Ларин Н.В. Строение зоны Владикавказского разлома по результатам изучения комплексом геолого–геофизических методов // Вопросы инженерной сейсмологии. 2010. Т. 37, № 3. С. 36–44.

- Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования // Тр. Ин-та геологии Даг. науч. центра РАН. 2010. № 56. С. 251–262.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Шварев С.В., Лутиков А.И., Новиков С.С. Уровень сейсмической и геологической опасности района Большого Сочи в связи со строительством олимпийских объектов // Глобальная безопасность. 2010а. Спец. вып. № 4. Приоритеты безопасности Олимпийских игр Сочи-2014. С. 67–73.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Шварев С.В., Мараханов А.В., Новиков С.С. Особенности сейсмотектоники Сочи–Краснополянского района // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Обнинск: ГС РАН, 2010б. С. 174–178.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Овсяченко Н.И. Способ оценки современной активности тектонических нарушений. Патент на изобретение № 2393510 от 07.05.2009. Опубл. 27.06.2010. Бюл. № 18. М., 2010в.
- Овсяченко А.Н., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Ларин Н.В., Рогожин Е.А. Сейсмотектоника и глубинное строение зоны Владикавказского активного разлома // Геофизические исследования. 2011. Т. 12, № 1. С. 47–59.
- Рогожин Е.А., Иогансон Л.И., Завьялов А.Д., Захаров В.С., Лутиков А.И., Славина Л.Б., Рейснер Г.И., Овсяченко А.Н., Юнга С.Л., Новиков С.С. Потенциальные сейсмические очаги и сейсмические предвестники землетрясений — основа реального сейсмического прогноза. М.: Светоч-Плюс, 2011. 368 с.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н. Сейсмотектоническая позиция Курчалойского землетрясения 11 октября 2008 г // Наука и образование в Чеченской Республике: Достижения и перспективы развития. Материалы Всерос. науч.-практич. конф., посвященной 10-летию со дня основания КНИИ РАН. Грозный: КНИИ РАН, 2011. С. 378–381.
- Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов инженерной сейсмологии // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2012. № 1. С. 70–90.
- Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Зайцева Н.В., Лукашова Р.Н. Андийские сейсмодислокации в Дагестане: опыт дистанционных исследований при сейсмотектоническом районировании Восточного Кавказа // Геология и геофизика юга России. 2012. № 3. С. 45–53.
- Рогожин Е.А. Очерки региональной сейсмотектоники. М.: ИФЗ РАН, 2012. 340 с.

- Лутиков А.И., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности Северо-Западного Кавказа в детальном масштабе // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2013. № 1. С. 31–41.
- Овсяченко А.Н., Хилько А.В., Шварев С.В., Костенко К.А., Мараханов А.В., Рогожин Е.А., Новиков С.С., Ларьков А.С. Комплексные геолого-геофизические исследования активных разломов в Сочи-Краснополянском районе // Физика Земли. 2013. № 6. С. 116–138.
- Рогожин Е.А., Лутиков А.И., Овсяченко А.Н., Донцова Г.Ю., Родина С.Н., Кучай М.С. Опыт детального сейсмического районирования Северного Кавказа // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2013а. № 4. С. 38–42.
- Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Андреева Н.В., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзедоев Б.А., Габараев А.Ф. Новые представления о глубинном строении Осетинского сектора Большого Кавказа // Геология и геофизика Юга России. 2013б. № 4. С. 3–7.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатиков А.В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. М.: ИФЗ РАН, 2014а. 256 с.
- Рогожин Е.А., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Тверитинова Т.Ю. Структурная позиция и проблемы возникновения очагов грязевого вулканизма в позднеальпийском складчатом сооружении Северо-Западного Кавказа (на примере изучения глубинного строения грязевого вулкана Шуго) // Геология и геофизика Юга России. 2014б. № 3. С. 89–115.
- Горбатиков А.В., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Андреева Н.В., Передерин Ф.В., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзедоев Б.А., Габараев А.Ф. Особенности глубинного строения и современной тектоники Большого Кавказа в Осетинском секторе по комплексу геофизических данных // Физика Земли. 2015. № 1. С. 3–14.
- Милюков В.К., Миронов А.П., Рогожин Е.А., Стеблов Г.М. Оценки скоростей современных движений Северного Кавказа по GPS-наблюдениям // Геотектоника. 2015. № 3. С. 56–65.
- Рогожин Е.А., Горбатиков А.В. Результаты детальных геофизических исследований в районе Креченского пролива // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т. 42, № 2. С. 67–72.
- Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Овсяченко А.Н., Андреева Н.В., Харазова Ю.В. Структура и современная геодинамика мегантиклинория Большого Кавказа в свете новых данных о глубинном строении // Геотектоника. 2015а. № 2. С. 36–49.
- Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Степанова М.Ю., Андреева Н.В., Харазова Ю.В. Новые данные о глубинном строении, тектонике

- и геодинамике Большого Кавказа // Докл. Акад. наук. 2015б. Т. 462, № 3. С. 356.
- Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Овсяченко А.Н. Активные разломы и глубинное строение зоны Керченского пролива // Геология и геофизика Юга России. 2015в. № 1. С. 63–66.
- Маммадли Т.Я. О., Рогожин Е.А. О тектоническом характере зоны сочленения земной коры Южно-Каспийской впадины и Скифско-Туранской плиты по сейсмологическим данным // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016. Т. 43, № 2. С. 5–16.
- Овсяченко А.Н., Меньшиков М.Ю., Рогожин Е.А., Корженков А.М. Циклы сейсмической активности во второй половине голоцена на Западном Кавказе и их связь с этапами цивилизационного развития (на примере верховьев р. Мзымта) // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15, № 2. С. 5–38.
- Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Харазова Ю.В., Степанова М.Ю., Николаев А.В. Особенности глубинного строения и геологической активности горы Эльбрус и участка Эльбрус–Тырныауз по комплексу геолого-геофизических данных // Докл. Акад. наук. 2016. Т. 471, № 3. С. 350–353.
- Рогожин Е.А., Милуков В.К. Спутниковый геодезический мониторинг и сейсмические проявления зоны Владикавказского разлома // Геология и геофизика Юга России. 2016. № 4. С. 102–110.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Вакарчук Р.Н., Горбатилов А.В., Ларьков А.С., Рогожин Е.А., Сысолин А.И. Следы сильного землетрясения в средневековом городе Фанагория на Таманском полуострове // Геология и геофизика Юга России. 2017а. № 3. С. 78–94.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Рогожин Е.А., Мараханов А.В. Оценка сейсмической опасности низкоактивных областей на примере Керченско-Таманского региона // Наука и технологические разработки. 2017б. Т. 96, № 1. С. 5–18.
- Рогожин Е.А. Тектоническая позиция, сеймотектонические, макросейсмические и сейсмологические проявления Курчалойского землетрясения 11 октября 2008 г. в Чеченской Республике // Геология и геофизика Юга России. 2017а. № 3. С. 111–116.
- Рогожин Е.А. Тектоническая позиция, сейсмологические и геологические проявления очага Онийского-II землетрясения 7 сентября 2009 г. на Южном склоне Большого Кавказа // Геология и геофизика Юга России. 2017б. № 4. С. 109–115.
- Горбатилов А.В., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Сысолин А.И., Рыбин А.А., Андреева Н.В. Модель глубинного строения вулкана Эльбрус в свете новых геофизических данных // Докл. Акад. наук. 2018. Т. 480, № 2. С. 229–232.

- Милюков В.К., Миронов А.П., Стеблов Г.М., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Дробышев В.Н., Кусраев А.Г., Хубаев Х.М., Торчинов Х.-М.З. Спутниковый геодезический мониторинг зоны Владикавказского активного разлома: первые результаты // Физика Земли. 2017. № 4. С. 110–117.
- Маммадли Т.Я., Рогожин Е.А. Поперечные разломы восточной части Кавказа и их проявления в сейсмичности // Вопросы инженерной сейсмологии. 2018. Т. 45, № 2. С. 21–30.
- Милюков В.К., Миронов А.П., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М., Николаев А.В. Скорости современных горизонтальных движений в центральном секторе Большого Кавказа по данным GPS-наблюдений и их связь с тектоникой и глубинным строением земной коры // Докл. Акад. наук. 2018. Т. 481, № 3. С. 291–295.
- Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Горбатилов А.В. Глубинное строение и режим вулканической и сейсмической активности Приэльбрусья // Геотектоника. 2018а. № 6. С. 69–81.
- Рогожин Е.А., Милюков В.К., Миронов А.П., Овсяченко А.Н., Горбатилов А.В. Характеристики современных горизонтальных движений в центральном секторе Большого Кавказа по данным GPS-наблюдений и их связь с новейшей тектоникой и глубинным строением земной коры // Геология и геофизика Юга России. 2018б. № 4. С. 141–146.
- Чотчаев Х.О., Рогожин Е.А., Голик В.И., Чернов Ю.К., Шемтелев А.Г. Геодинамическая обстановка на Центральном Кавказе и структурные комплексы на глубинном разрезе Геналдонского профиля // Тр. Ин-та геологии Даг. науч. центра РАН. 2018. № 4 (75). С. 77–85.
- Milyukov V., Mironov A., Myasnikov A., Rogozhin E., Gorbatikov A., Stepanova M. Contemporary state of the Elbrus volcanic center (The Northern Caucasus) // Pure and Appl. Geophys. 2018. Vol. 175, N 5. P. 1889–1907.
- Акимов В.А., Зайцев В.А., Ларьков А.С., Лутиков А.И., Овсяченко А.Н., Панина Л.В., Рогожин Е.А., Родина С.Н., Сысолин А.И. Карты сейсмической опасности Северо-Западного и Центрального Кавказа в детальном масштабе // Вопросы инженерной сейсмологии. 2019а. Т. 46, № 4. С. 57–74.
- Акимов В.А., Бадина С.В., Егорова А.А., Маклаков А.С., Михеева Н.Н., Нигметов Г.М., Рогожин Е.А., Суворов А.В., Цыганов А.А. Оценка экономического и социального ущерба от опасных природных процессов на Северо-Западном и Центральном Кавказе на основе междисциплинарного подхода: постановка задачи // Технологии гражданской безопасности. 2019б. Т. 16. № 1 (59). С. 26–33.
- Гмыря Л.Б., Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Рогожин Е.А. Вероятные палеосейсмические деформации на Рубасском археологиче-

- ском памятнике середины VI в., Южный Дагестан // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 3. С. 91–103.
- Горбатилов А.В., Габсатарова И.П., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Сысолин А.И., Погребченко В.А. Уточнение глубинного строения и кинематики тектонических движений в области Сальского землетрясения 2001 г. на основе новых геофизических данных // Вопросы инженерной сейсмологии. 2019. Т. 46, № 2. С. 5–15.
- Етирмишли Г.Д. О., Маммадли Т.Я. О., Рогожин Е.А., Сысолин А.И. Сейсмическая активизация в восточной части Южного склона Большого Кавказа в конце XX — начале XXI в. // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 2. С. 82–96.
- Корженков А.М., Новичихин А.М., Овсяченко А.Н., Рангелов Б.К., Рогожин Е.А., Димитров О.В., Ларьков А.С., Лю Ц. Поиск следов сильных древних землетрясений на Западном Кавказе: Археосейсмологические исследования в древней Горгииппии // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 4. С. 110–128.
- Лутиков А.И., Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Донцова Г.Ю., Родина С.Н., Сысолин А.И., Акимов В.А. Опыт детального сейсмического районирования Северо-Западного Кавказа с учетом результатов палеосейсмологических исследований // Вопросы инженерной сейсмологии. 2019. Т. 46, № 3. С. 110–120.
- Овсяченко А.Н., Новичихин А.М., Быхалова О.Н., Рогожин Е.А., Корженков А.М., Ларьков А.С., Бутанаев Ю.В., Лукашова Р.Н. Междисциплинарное датирование Утришских сейсмодислокаций: к локализации очага сильного исторического землетрясения на Западном Кавказе // Вопросы инженерной сейсмологии. 2019а. Т. 46. № 3. С. 32–49.
- Овсяченко А.Н., Горбатилов А.В., Рогожин Е.А., Андреева Н.В., Степанова М.Ю., Ларьков А.С., Сысолин А.И. Микросейсмическое зондирование и активные разломы Керченско-Таманского региона // Физика Земли. 2019б. № 6. С. 84–95.
- Рогожин Е.А. Эволюция представлений о строении очагов сильных землетрясений в конце XX и начале XXI веков // Физика Земли. 2019. № 1. С. 134–148.
- Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Харазова Ю.В., Степанова М.Ю., Chen J., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Сысолин А.И. Глубинное строение Анапской флексуно-разрывной зоны, Западный Кавказ // Геотектоника. 2019а. № 5. С. 3–11.
- Рогожин Е.А., Милуков В.К., Миронов А.П., Овсяченко А.Н., Горбатилов А.В., Андреева Н.В., Лукашова Р.Н., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М. Характеристики современных горизонтальных движений в зонах заметных землетрясений начала XXI в. в центральном секторе Большого Кавказа по

- данным GPS-наблюдений и их связь с новейшей тектоникой и глубинным строением земной коры // Геофизические процессы и биосфера. 2019б. Т. 18, № 1. С. 91–102.
- Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Сысолин А.И., Рыбин А.А. Глубинные структурные и тектонические особенности очаговых зон землетрясений 21 века в северо-западной части Большого Кавказа // Вопросы инженерной сейсмологии. 2019в. Т. 46, № 1. С. 62–77.
- Рогожин Е.А., Лутиков А.И., Овсяченко А.Н., Донцова Г.Ю., Сысолин А.И. Детальное сейсмическое районирование Северо-Западного Кавказа с учетом результатов палеосейсмогеологических исследований // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2019г. № 4. С. 32–38.
- Корженков А.М., Гаджиев М.С., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Рогожин Е.А. Следы сейсмической активности на архитектурных памятниках г. Дербент, Дагестан // Геофизические процессы и биосфера. 2020. Т. 19, № 1. С. 5–29.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Гаджиев М.С., Ларьков А.С., Рогожин Е.А. О сейсмотектонической деформации раннесредневековой крепостной стены г. Дербент (Дагестан) // Докл. Рос. акад. наук. Науки о Земле. 2020б. Т. 493, № 1. С. 63–67.
- Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Сысолин А.И., Андреева Н.В., Погребченко В.В., Червинчук С.Ю., Цзе Ч., Цзяо Лю., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. Глубинное строение Северо-Западного окончания Кавказа по новым геолого-геофизическим данным // Физика Земли. 2020. № 6. С. 48–65.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. Очаг сильного землетрясения как геологический объект // Геотектоника. 2021. № 3. С. 3–30.

Ф.Л. Яковлев

ИССЛЕДОВАНИЕ СКЛАДЧАТОСТИ В ТВОРЧЕСТВЕ Е.А. РОГОЖИНА

С Евгением Александровичем я близко познакомился летом 1979 г. в наиболее естественных для него условиях — в поле.

Здесь надо сначала рассказать о том, как я на эти полевые работы попал и в качестве кого. С Институтом физики Земли я тогда был связан менее полугода — аспирантуру я заканчивал в 1978 г. под руководством Владимира Владимировича Белоусова в МГУ им. М.В. Ломоносова, а не в ИФЗ, там же и защитил кандидатскую в мае 1979 г. Приняли меня на работу после формального окончания аспирантуры раньше, в январе того же года, причем, поскольку я не имел московской прописки, меня зачислили на должность инженера на сейсмостанцию «Обнинск» — там с формальностями было все в порядке: я в этом городе родился и был прописан на тот момент у родителей. А поскольку, по понятным обстоятельствам, начиная с января и до середины июня занимался только своей диссертацией, то со всеми сотрудниками лаборатории был не очень-то и знаком. Хорошо знал Шолпо Виктора Николаевича, который вел мои рутинные аспирантские дела, замещая В.В. Белоусова, и заинтересован в результатах моей работы — во всяком случае тему для моей работы в аспирантуре, как я понимаю, с согласия Белоусова поставил именно он. И, конечно, два полевых сезона (1976 и 1977 годы) я отработал у него в отряде в Осетии, на Большом Кавказе, хорошо знал Г.И. Рейснера и Г.Н. Квятковскую.

В воспоминаниях о Евгении Александровиче, как мне показалось, с моей стороны будет правильно подробно рассказать о многих обстоятельствах его научной деятельности того периода его работы в Институте физики Земли, который был близко связан с темой происхождения складчатости. Поэтому начну с самого общего положения дел в тектонике в то время, разумеется, в рамках сегодняш-

него моего понимания ситуации. Тогда, конечно, о многом я либо не знал, либо не задумывался над такими сложными материями. Примерно к 1980 г. геосинклинальная концепция с одной стороны начала испытывать значительные внутренние трудности методического характера, а с другой — на нее стало усиливаться давление со стороны появившейся и бурно развивающейся тектоники плит. Обе концепции в своей методологии ограничивались использованием умозрительных моделей, в которых явления объяснялись на основе словесных формулировок и подбора аргументов в свою пользу и против построений конкурентов. Но возможностей предложения численных моделей, которые могли быть проверены, у концепции тектоники плит в целом было больше, а кроме того, накопившиеся проблемы геосинклинальной концепции всем были хорошо известны и уже подвергались некоторое время обоснованной критике. Поэтому тенденция роста влияния тектоники плит на общественное мнение тектонистов была очевидна и практически неизбежна.

Основным пунктом, вокруг которого шла научная борьба двух систем взглядов, являлся вопрос о формировании складчатых сооружений — каким образом осадки большой мощности, накопленные за геосинклинальный цикл за пределами платформ, превращаются в кристаллический слой континентальной коры? Поскольку участники дискуссии с обеих сторон были согласны с тем, что континентальная кора (ее «гранитный слой») не может быть уничтожена, по крайней мере на континентах, а плотность ее пород очевидно является низкой относительно пород мантии, то ее большое поперечное сокращение с соответствующим увеличением ее мощности считалось невозможным — изостатические силы будут такое сооружение очень сильно выталкивать вверх. Здесь надо добавить, что «неуничтожимость» гранитного слоя считалась связанной с химизмом пород — наличие в кислых полевых шпатах «рыхлых» крупных ионов калия и натрия и большого количества кремния не дает возможности создать плотную «мантийную» упаковку кристаллических решеток основных минералов кислых пород «гранитного» ряда. Поэтому породы коры и мантии, по общему в то время мнению, имеют разную плотность в основном по условиям своего химического состава. Соответственно поверхность Мохоровичича считалась привязанной к разделу таких пород, а потому рассматривалась (и до сих пор чаще всего рассматривается) как структурный репер.

Далее в логике построения концепций мнения конкурирующих сторон разделялись. С самого начала в геосинклинальной концепции складчатость не имела обязательного сокращения пространства в качестве своего основного свойства — такая возможность скорее игнорировалась, чем обсуждалась в публикациях в рамках основных классических «геосинклинальных» взглядов. А сторонники мобилизма естественным образом предположили, что в пределах «геосинклиналей» под осадками большой мощности первоначально находились блоки тяжелой океанической коры, а не континентальной. Эти блоки во время складчатости пододвигались под блоки континентальной коры в структурной ситуации «А-субдукции», при этом толща легких осадков сгребалась с их поверхности и сминалась в складки (это называлось «скупчивание»). Такие деформации сопровождались метаморфизмом и магматизмом — этот сложный процесс и формировал из таких осадков блоки новой континентальной коры. Те блоки океанической коры, над которыми раньше находились осадки, при погружении бесследно исчезали в мантии. Так обеспечивалось большое сокращение пространства при сохранении в целом мощности континентальной коры в подвижных поясах.

То есть получалось, что вопрос о происхождении складчатости сводился к проблеме выявления масштабов ее сокращения и установлению механизмов формирования складок, и эти проблемы являлись тогда центральными в теоретической тектонике. Именно с этим пунктом был связан существовавший в то время большой интерес геологов к крупным надвигам, шарьяжам и сдвигам глобального масштаба с амплитудой смещения в сотни километров — эти структуры активно исследовались и обсуждались во множестве публикаций.

Надо заметить, что В.В. Белоусов с самого начала своей работы в Институте теоретической геофизики АН СССР (1944 г.) строил работу своих научных подразделений вокруг решения этих центральных для тектоники вопросов — об этом говорят подбор кадров и постановка задач исследований. Причем упор делался на привлечение к решению вопросов тектоники возможностей физики и математики — так появились первые лаборатории тектонофизики в Геофизическом институте АН СССР и в МГУ.

Едва ли не самые первые опыты по воспроизведению тектонических структур, кстати, были направлены именно на изучение складок. Разумеется, для полноценного исследования явления потребовался

материал собственных полевых работ, в котором складки и складчатость были бы детально описаны. Поэтому было организовано несколько групп исследователей, которые в разных регионах СССР собирали материал, выезжая в поле с этой целью каждое лето на несколько месяцев. В.В. Эз стал специализироваться на складчатости метаморфических комплексов (Прибайкалье, Карелия), но в начале исследований целого ряда таких структур он изучал и регион слабо развитой складчатости в Зилаирском синклинии. А.А. Сорский и И.В. Кириллова начиная примерно с 1955 г., занимались складчатостью Большого Кавказа, а позже, с 1958 г., к ним присоединился В.Н. Шолпо. К периоду 1955–1963 гг. относятся работы группы М.В. Гзовского в Байджансайском антиклинории в Казахстане, в которых не только собирались детальные данные по складкам, но и началась разработка методов тектонофизики. М.Л. Сомин начиная примерно с 1965 г. занимался зонами метаморфической складчатости герцинского фундамента Большого Кавказа. Ориентировочно с 1973 г. группа тектонистов из МГУ (А.В. Вихерт, М.А. Гончаров, А.Г. Малюжинец, Н.С. Фролова) начала многолетние исследования в зоне каледонской линейной складчатости Таласского Алатау в Северном Тянь-Шане. В это же время Евгений Александрович Рогожин за шесть полевых сезонов провел очень большую работу по составлению детальных структурных профилей в зонах герцинской складчатости Туркестанского хребта в Южном Тянь-Шане. По этим материалам он в 1974 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1977 г. выпустил монографию. Таким образом, за четверть века (1955–1980 гг.) сотрудники В.В. Белоусова системно и целенаправленно собрали очень детальный материал по морфологии складчатых структур и по истории развития очень разных типов складчатых структур, имевших разный возраст тектогенеза.

Еще в студенческие годы я подключился к этим работам в составе группы МГУ, изучавшей складчатость Таласского хребта. За два полных полевых сезона я хорошо освоил практику составления структурных профилей; это была основная цель работ. Другим направлением деятельности сотрудников МГУ (главным образом — М.А. Гончарова и Н.С. Фроловой) в поле было изучение морфологии отдельных складок, точнее, разного деформационного поведения слоев компетентных и некомпетентных кливажированных пород в связи с механизмами формирования изучаемых складок — эта информация относилась уже к тектонофизике. Участвуя в этих работах, я неожиданно проявил заметные способности к пониманию слож-

ных процессов. Полагаю, здесь сказалась специфика города Обнинска: в последних классах школы я дополнительно учился в вечерней физико-математической школе для школьников при Обнинском филиале МИФИ. Надо заметить, что физику нам в этой школе давали на очень высоком уровне — он был не ниже университетского. Поскольку я позитивно себя проявил в этом деле, то был принят в команду Белоусова: курсовую работу и диплом я писал по структуре Таласского хребта, а сразу после окончания МГУ поступил в аспирантуру к В.В. Белоусову.

В аспирантуре, как уже говорилось, я попал под опеку Виктора Николаевича Шолпо, который, собственно, и поставил общую задачу исследования — разработать методы оценки величины сокращения по морфологии отдельных складок. Объект исследования был изменен с Тянь-Шаня на Большой Кавказ. В этом месте повествования я хочу специально отметить постоянное стремление ведущих сотрудников института к введению в обиход научных исследований количественных моделей или количественных методов исследований. Так, Михаил Адрианович Гончаров в 1976 г. разработал простейшую математическую модель адвекции; я ее очень активно эксплуатирую последние лет сорок.

В.Н. Шолпо, в свою очередь, к тому времени уже использовал элементы стрейн-анализа (замеры формы сидеритовых конкреций) для оценки величины сокращения. Он считал, что рост величины сокращения юрских толщ от периферии к центру Сванетского антиклинория, который он этим способом обнаружил, указывает на диапировую природу ядра этой структуры, а значит, такой диапризм может объяснить и природу всей складчатости Большого Кавказа. Это было важно для разрабатываемой концепции — объяснить формирование складчатости без использования общего, «внешнего», сокращения. Примерно тот же результат он ожидал получить и для других структур Кавказа — меловых толщ Чиаурского синклинория в Осетии, в которых не было конкреций, но были небольшие складки. Поэтому предложенная мне тема исследования в аспирантуре явно была частью большой внутренне согласованной работы сотрудников В.В. Белоусова. Два полевых сезона (1976 и 1977 годов) я под руководством В.Н. Шолпо и В.В. Белоусова собирал материал по складкам в Чиаурской зоне в Южной Осетии, и за три года аспирантуры нужные методы были разработаны, диссертацию я написал и защитил в срок.

Я прошу читателя извинить меня за такие длинные экскурсы в методологию и историю научной деятельности большой команды Владимира Владимировича «золотого» века в ИФЗ и МГУ, но это важно для описания того, что делал и чего добился Евгений Александрович. Теперь можно постепенно вернуться к событиям лета 1979 года.

Мне сейчас сложно точно говорить о намерениях и планах Владимира Владимировича — что-то я определенно знаю, о чем-то могу только догадываться. Возможно, моя успешная работа в аспирантуре в тот момент заставила его приглядеться ко мне повнимательнее, поэтому я был включен в отряд В.Н. Шолпо на полевой сезон 1979 года. А задача у отряда была любопытной. В.В. Белоусов, Н.Б. Лебедева (МГУ) и В.Н. Шолпо при моем участии проводили на Юго-Восточном Кавказе рекогносцировку с целью подбора объекта для работ по решению проблемы складкообразования. Общая идея была нетривиальной. В пределах юрского ядра здесь существовала сильно сжатая складчатость, в соответствии с классификацией В.В. Белоусова по морфологии — «полная линейная», а по генезису — «общего



Полевые наблюдения на Юго-Восточном Кавказе, лето 1979 г. Слева направо — В.Н. Шолпо, В.В. Белоусов, Н.Б. Лебедева

смятия». По простирацию на восток, там, где юрские породы погружались, она постепенно сменялась складчатостью «гребневидной», по предполагаемому механизму — «нагнетания». Теоретически получалось, что складки разной морфологии имеют разные механизмы формирования. Соответственно, в представлении В.В. Белоусова, если подробно описать, как один морфологический тип складчатости переходит в другой, то могут обнаружиться важные особенности таких механизмов и найдется решение проблемы.

В процессе рекогносцировочных работ в Дагестане и Азербайджане мы переезжали из одной долины реки в другую, в каждой делали по 2–3 маршрута, по ходу которых зарисовывались складки и разрывы и обсуждалась та структура, которую мы видели. Но я в этих маршрутах не мог проявлять особой активности, поскольку не очень понимал стратегическую задачу, а для нормальной работы с отдельными складами (то, что я уже умел делать) — для их детальной зарисовки и подробных замеров элементов морфологии — времени в маршрутах не отводилось. Конечно, месяц совместной работы и каждодневного общения с Владимиром Владимировичем для меня были большой жизненной удачей. В какой-то момент при очередной беседе в лагере Белоусов очень точно объяснил мне значение проблемы складкообразования, как он ее понимает — что это цен-



Владимир Владимирович Белоусов в маршруте, лето 1979 г.

тральная проблема всей геотектоники. Тот разговор для меня стал во многом судьбоносным — стало понятно, что эта тема является самой важной, и я в своей дальнейшей деятельности на другие проблемы уже почти не отвлекался (изложение этой беседы можно найти в журнале «Геофизические исследования», 2008, № 1).

Примерно через месяц после начала работ в этом же районе Юго-Восточного Кавказа должен был появиться отряд Е.А. Рогожина; связь с ним было условлено поддерживать по почте, оставляя письма «до востребования». Ожидая информации и спрашивая местных жителей в тех местах, где отряд мог появиться («Вы машину с московскими номерами не видели?»), мы получали странные ответы вроде «Да, видели, они гуляли, шли в гору отдельно от машины». Потом выяснилось, что отрядный ГАЗ-52, как оказалось, был частично сломан — из шести цилиндров двигателя работало только четыре, поэтому полный груз вместе с людьми по обычному уклону поднимать не получалось, а починить двигатель в тот момент не было возможности. Несколько дней В.В. Белоусов и В.Н. Шолпо волновались по этому поводу. В конце концов встреча Белоусова и Рогожина состоялась, все планы они обговорили, а меня с палаткой и вещами передали при этом Евгению Александровичу. Так я включился в работу его отряда на остаток этого полевого сезона (примерно на месяц) и на полный сезон следующего года.

Хорошо помню первый лагерь и первый совместный маршрут. Наши палатки Е.А. Рогожин поставил на плоском перевале рядом с ручейком, чтобы не спускаться на ненадежной машине в долину р. Карачай, с которой он собирался начать исследования. На следующий день после моего появления мы втроем или вчетвером погрузились в пустую машину и спустились к месту работы по одной из грунтовых дорог, сразу начав строить профиль с верховьев реки. Хочу заметить, что на обратном пути не обошлось без приключения — в одном месте подъем был круче обычного и машина по нему не смогла подняться — просто пробуксовывала. Пришлось нам с Рогожиным вдвоем пешком идти в ближайшее село Зеид за трактором, благо это было недалеко — километра два или три. В последующем мы ездили в маршруты в долину этой реки уже по другим дорогам.

Здесь надо отметить очень тщательную подготовку Е.А. Рогожина к полю. Разумеется, все снаряжение, качество топографических карт и другое стандартное обеспечение работ было на высоте, все делалось по-военному четко и вовремя. Очень важно, что Евгений

Александрович тратил перед каждым полем около десяти дней на работу в геологических фондах и все копии нужных геологических карт, стратиграфических колонок из производственных отчетов и другие материалы были у него в наличии в обязательном порядке. Кроме этого, вся литература по региону, вплоть до основных книг из библиотеки ИФЗ, тоже бралась с собой — все это бумажное богатство занимало примерно один выючный ящик. Поэтому в маршруте никогда не возникало вопросов по поводу того, что мы видим перед собой; возраст толщ, их состав, мощность и другая важная информация всегда были известны.

Порядок работы в маршруте у Е.А. Рогожина был стандартным и очень эффективным. Выбиралось хорошее обнажение в борту долины, ставилась точка на карте, к которой привязывался рисунок. В полевой книжке рисовался урез воды и вид долины сбоку с характерными ориентирами. Обычная длина такого короткого профиля составляла от 100 до 300 м; примерная длина обнажения в книжку записывалась. Далее, соблюдая пропорции, все складки зарисовывались таким образом, чтобы им было «просторно» на рисунке; обычно это было 5–10 складок с разрывами. Евгений Александрович обязательно прорисовывал литологический состав слоев — сланцы, песчаники, известняки, сразу подписывался возраст толщ — в этом отношении он был очень хорошим «рисовальщиком». Если в обнажении были характерные слои или выступающие пачки песчаников, это тоже отмечалось.

Далее тщательно рисовались и измерялись наклоны плоскостей осевых поверхностей (азимут падения и угол), а также для каждой складки на бумаге делались отметки тех мест в слоях, в которых измерялись углы падения. Все замеры наносились прямо на рисунок. Конечно, мы обязательно подходили к обнажению, чтобы убедиться в положении кровли и подошвы (это на рисунке тоже всегда отмечалось специальным значком), особенно, если в разных блоках через разлом выходили разные толщи или если слоистость была почти вертикальной. После того как вся структурная информация была собрана, мы переходили к следующему большому обнажению и все процедуры зарисовки структуры и регистрации информации повторялись. И Евгений Александрович каждый раз старался зарисовывать сначала конец прежнего обнажения, чтобы не пропустить какую-то структуру. Все характерные точки на местности отмечались и на карте, и на профиле.

В юрском ядре Юго-Восточного Кавказа основная структура располагалась на северном склоне Главного хребта и занимала полосу около 10 км шириной. На работу по составлению профилей в каждой долине уходило примерно 5–7 дней, т.е. обычная «производительность» составляла около 1–2 км профиля в день. После окончания сбора материала по профилю обязательно устраивался камеральный день – в определенном масштабе вся структура тщательно переносилась из записных книжек на миллиметровку, причем для построения на бумаге залеганий всех плоскостей (слоистости, осевых плоскостей, поверхностей разрывов) по имевшимся замерам обязательно использовался транспортёр, и точность направления проведения линий в 1° считалась правильной. Если линия профиля проходила не перпендикулярно к осям складок, то наклоны слоев для нанесения на миллиметровку пересчитывались. Это я помню точно — у Евгения Александровича не оказалось нужной таблицы, а у меня с собой был калькулятор с тригонометрическими функциями и я быстро составил чертежик и формулы пересчета — мы ими пользовались.

Делалось такое чистовое построение профиля на миллиметровке для специального контроля его точности. Если при обобщении материала обнаруживалось какое-то место с неясным строением, то в этом случае можно было легко вернуться к проблемным обнажениям в дополнительном маршруте и уточнить структуру. Для Юго-Восточного Кавказа такие профили имели масштаб 1:10 000, а качество было, как я его сейчас называю, «фотографическим». Хочу сделать небольшую ремарку по поводу качества составленных профилей. Я сейчас их использую как источник структурного материала: делаю замеры разных параметров — углов и длин отрезков линий. Потом это все в виде цифр используется в компьютерной программе для составления сбалансированных профилей. И если что-то в исходных материалах будет некорректно, то структура не сложится. По поводу материалов сезонов 1979–1980 годов могу сказать следующее. Только в одном месте из десяти профилей общей длиной около 100 км мне пришлось профиль фактически разорвать, не нарисовав внятной до-складчатой структуры. И я даже помню это место — мы этот субвертикальный разрыв и пачку слоев в южном блоке, которая в него «упирается», увидели снизу-вверх, под углом 30 или 40°, и подойти к нему или посмотреть на него с другой точки не было никакой возможности; это место оказалось зарисовано некорректно.

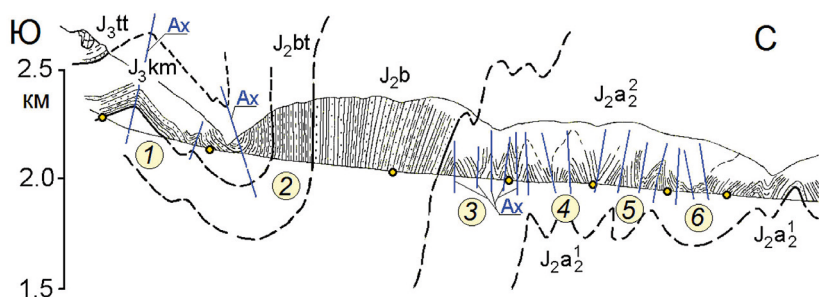


Складки и разрывы во флишевых толщах верхней юры, Тфанская зона, Юго-Восточный Кавказ. Долина р. Джимичай. Фото сделано во время маршрута с Е.А. Рогожиным

Возвращаясь к составлению профилей в поле. Надо заметить, что вся работа у Евгения Александровича проходила без длительных размышлений, в стиле производственной геологической партии — «пришел, увидел, понял структуру, зарисовал, провел все замеры, пошел дальше». Фотографирования обнажений почти не делалось, форма мелких складок не изучалась. То есть все в маршрутах было нацелено на получение наиболее достоверного структурного материала в профилях максимальной протяженности. Эта технология Евгением Александровичем была, вероятно, отработана еще в Тянь-Шане — он составил там около 250 погонных километров таких детальных профилей.

После первых маршрутов, в которых я проходил своеобразную проверку своей квалификации как структурного геолога,

способного такие профили строить (прошел вполне успешно), далее мы поступали по обстановке. Иногда ходили в маршруты вместе. Евгений Александрович в этом случае был основным рисовальщиком, а я помогал в замерах элементов на месте и в проверке структуры. Но чаще мы делили профиль — я самостоятельно строил разрезы в основном в северных частях района, Евгений Александрович — в центре и на юге. Так, важный крупный разлом этого региона — Ахтычайский, в разных блоках которого стратиграфический уровень отложений и их характер не сильно отличались, я обнаружил сразу, а на имевшихся у нас копиях геологических карт он не был обозначен. И только потом мы нашли упоминание об этом разломе в работе В.Е. Хаина — это был аналог очень важного Главного Кавказского надвига.



Типичная складчатая структура, отраженная в структурном пересечении, р. Агчай, Тфанская зона Юго-Восточного Кавказа. Материал Е.А. Рогожина, 1979 г. М. 1 : 1 0000

Показано деление профиля на «домены» (1—6), а также разметка положения осевых поверхностей, подготовленная для замеров этого параметра (Ф. Яковлев, 2015 г.)

И, конечно, обязательно надо сказать о том, с каким удовольствием Евгений Александрович занимался этой работой и как наслаждался всей обстановкой полевой жизни: ночевка в палатках, свежий воздух, горные реки, альпийские луга, каждый день новые виды и новые впечатления — все это доставляло ему явное удовольствие. Надо сказать, что у нас была пара эпизодов, когда мы работали на лошадях — и это было совершенно особое состояние Евгения Александровича. Мы тогда стояли рядом с большим селом Хиналык на реке Кудиячай, это была долина с самым длинным, хорошо нами изученным профилем, можно сказать, с основным пересечением в регионе. Когда потребовалось, Евгений Александрович очень быстро узнал, у кого из местных жителей можно арендовать двух лошадей, сразу нашел с хозяином общий язык. Евгений Александрович хорошо разбирался в этом непростом деле — как седлать лошадей, как на них перемещаться, как поить, кормить, где и как располагать их на ночь. На лошадях мы из лагеря около Хиналыка ушли вдоль хребта на 20 км на запад, в широкую долину р. Шахнабад и ее притока р. Курвечай, по которому проходила перевальная тропа и по которому мы и составляли профиль. Вся работа проходила на высотах 2.5–3.3 км в альпийских лугах и моренах бывших ледниковых трогов. Поскольку дороги для машины в этих местах никогда не было, то



Евгений Рогожин в маршруте в долине р. Шахнабад на фоне горного массива Шахдаг (рифовые известняки титонского возраста)

использование лошадей было единственной возможностью туда добраться и выполнить работу. Такая вылазка заняла несколько дней с ночевками.

Запомнилась работа в другой высокогорной долине — Рагданчае. В первом же маршруте приключилось следующее. После установки лагеря на новом месте мы еще утром, в оставшиеся полдня, вышли познакомиться с долиной — где какие обнажения, какие есть подходы к основным объектам. После первого километра вверх по долине обнаружился солидный обвал или оползень с довольно крутыми склонами, но его можно было обойти сверху, поднявшись метров на двести. Так мы и сделали, и по спокойной осыпи спустились в долину за этим обвалом. Евгений Александрович даже успел зарисовать пару складок. И тут погода поменялась — солнце стало опускаться к горизонту, ветер стих и вдруг над долиной образовалось облако и его поверхность, бодро опускаясь вниз, сначала перекрыла верхнюю часть обвала, по которой мы прошли к спуску в среднюю часть долины, а затем накрыла и нас. Мы начали перемещаться по горизонтали вниз по долине по направлению к обвалу, но склон становился все круче. Конечно, большой опасности не было, но в густом

тумане вполне можно было попасть в ситуацию, когда дальше идти будет опасно. А поскольку уже начинало темнеть, то долго плутать по такому склону не хотелось. И тут выручила запасливость Евгения Александровича. Я перед выходом взял с собой аэрофотоснимок на эту долину из привезенных из ИФЗ материалов и успел найти наше место на этом снимке, пока что-то еще было видно в тумане. И уже по снимку, тщательно ориентируясь через каждые метров двадцать при видимости метров на пять, не больше, удалось безопасно выйти наверх, обойти этот завал, и я потерял ориентацию по снимку уже на травянистом склоне на безопасном спуске вниз. Запомнилось, что пока минут сорок потихоньку продвигались в нужном направлении, мы с Евгением Александровичем как-то очень доверительно и неспешно беседовали на совершенно отвлеченные темы.

А долина эта нас «развлекала» в маршрутах потом не один раз. В средней своей части она представляла собой узкое ущелье шириной поверху метров тридцать и глубиной метров двадцать. Ущелье было завалено в пяти или шести местах еще не растаявшими остатками снежных лавин. По этим снежникам мы перебирались с одной стороны долины на другую. Один раз сразу после того, как мы перешли через речку вброд по колено ниже такого снежного завала, из-под него вырвался с шумом поток воды, который нес несколько кусков снега примерно по метру размером каждый. Другой раз на нас стали сверху по склону сбрасывать камни дикие козлы — это была территория заповедника, поэтому их там бродило довольно много. Пришлось убежать в сторону. Сложная была долина.

Для меня эти работы на Юго-Восточном Кавказе завершились летом 1981 года. Евгений Александрович пропускал тот сезон после операции, а я делал попытку изучения трещиноватости и закончил составлять южную часть профиля по р. Кудиялчай, дотянув его до Макамудского надвига уже на Южном склоне Кавказа.

Что касается собственно решения вопроса о генезисе складчатости в такой широкой зоне перехода от линейной складчатости к гребневидной, то оно появилось, но не в том виде, как, вероятно, задумывалось Владимиром Владимировичем.

Начну объяснение с еще одного разговора, который состоялся у меня с Белоусовым в том же 1979 году. Сейчас не смогу вспомнить, упоминалась ли прямо в этой беседе складчатость, но то что Владимир Владимирович хотел объяснить мне известные ему методические приемы решения классификационных вопросов в полуколичествен-



Е.А. Рогожин на тропе к перевалу в долине р. Курвечай среди осыпей и морен высокогорья



Возвращение из многодневного маршрута. На дальнем плане — массив г. Шахдаг. Вид на запад

ном виде — это вполне определено. Белоусов в этой беседе рассказал, как когда-то давно он участвовал в астрономических наблюдениях, а конкретно — в сборе материала для расширения диаграммы Герцшпрунга–Рассела, в которой звезды классифицировались по свойствам «цвет»/«светимость». Тогда у Белоусова был телескоп, карта звездного неба и список звезд, которые надлежало исследовать — отнести их параметры к «светимости, яркости» и «цвету». Для этого пользовалась двойная шкала — были известны «эталонные» звезды с яркостью от 1 до 10, с которыми надо было сравнивать объект, попеременно наводя телескоп на звезды и выбирая к какой из эталонного списка звезд яркость объекта была ближе всего. Точно так же проводилось сравнение с эталонными звездами по цвету.

Было мне это рассказано Белоусовым явно как подсказка для одного из возможных решений стоящей перед нами проблемы. В конце концов примерно такой метод и был разработан нами с Евгением Александровичем летом уже 1980 года. Для этих двух морфологических типов складок были подобраны семь параметров, по которым они существенно отличались. В рамках метода профиль делился на домены, внутри которых складки оценивались по такой шкале. Интересно, что про деление профиля со складками на «домены» я слышал раньше, еще будучи студентом, когда присутствовал при разговоре М.А. Гончарова и других сотрудников МГУ с известным геологом из Киргизии В.В. Киселевым, которому они показывали свои профили. Он наши профили через Тянь-Шань похвалил за то, что в них по рисовке складок легко можно было увидеть реально существующие в природе «домены» — участки с однородными по морфологии складками. Так что способ деления профиля на однородные участки уже существовал до нас.

Согласно этому методу каждый домен имел оценку «морфологической сложности складчатости» от 1.0 (полная линейная складчатость) до 0.2 (промежуточная, гребневидная складчатость). Эта оценка давалась по сумме оценок нескольких признаков типа «наклон осевой поверхности», «наличие кливажа» и др. В конце второго года работ у нас уже был первый результат для всего Юго-Восточного Кавказа в виде профилей с разделением на такие домены и оценками этой «сложности», и даже имелся прообраз карты распределения такой оценки по региону. Во всяком случае некая интегральная полуколичественная характеристика морфологии складчатости в полосе перехода от полной линейной складчатости на западе к промежуточ-

ной на востоке была предложена. Потом на эту тему нами с Евгением Александровичем была написана статья, опубликованная в журнале «Геотектоника», 1983, № 3. Так начался относительно недолгий период, в который мы с Евгением Александровичем плодотворно работали вместе.

Несмотря на то что какое-то решение проблемы описания перехода двух типов складчатости друг в друга было найдено, мне оно представлялось неполным по одной важной причине — этим способом нельзя было исследовать экспериментальные структуры с известным генезисом, поскольку метод предполагал использование таких параметров, которые при физическом моделировании было сложно или просто нельзя было воспроизвести — например, наличие кливажа. То есть принципиально отсутствовала возможность строго сопоставления природных данных с неизвестным генезисом и модельных экспериментов с известным происхождением структур.

Тем не менее, Евгений Александрович увлеченно начал оценивать по этой методике те профили, которые накопились в его архиве, а также те, которые он в последующие годы продолжил составлять на Большом Кавказе. За несколько лет Евгений Александрович составил несколько профилей через весь Северо-Западный Кавказ — это другая структура, в которой сложная напряженная складчатость ядра крупного сооружения по простираению переходит в спокойную складчатость периклинали. А меня начиная с 1983 года В.В. Белоусов перебрал на Южный Тянь-Шань в группу В.Г. Талицкого на изучение метаморфогенной складчатости хребта Кичик-Алай, поэтому по теме происхождения складчатости я в поле на Большой Кавказ с этого момента не выезжал в течение нескольких лет.

Примерно с 1980 года в теоретическом отношении я начал экспериментировать с простейшей математической моделью адвекции М.А. Гончарова в комбинации ее с общим укорочением. Задача эта решалась чисто кинематически, геометрически, для чего использовались вычисления на компьютере. Параллельно был найден способ восстановления складчатости в доменах до их доскладчатого состояния, что позволило прямо определять величину сокращения в профилях. В конце концов было обнаружено, что в модели адвекции М.А. Гончарова среднее сокращение складок по профилю превышает общее сокращение профиля и связано такое превышение с «величиной» того процесса адвекции, который задается в модели.

Таким образом, в этом методе удалось связать два противоположных по смыслу процесса — адвекцию и горизонтальное сокращение. На эту тему сначала был сделан доклад на семинаре в ИФЗ (1984 г.), а потом, после преодоления некоторых сложностей, была опубликована статья («Геотектоника», 1987), вызвавшая благожелательные отклики со стороны ряда коллег. В том числе позитивную оценку со стороны Евгения Александровича получило одно из сделанных в этой статье наблюдений — для наших профилей по Юго-Восточному Кавказу была обнаружена положительная и значимая корреляция между значениями «морфологической сложности складчатости» и «амплитудой адвекции». Такая связь была воспринята как доказательство реальности адвекции в качестве причины формирования складчатости. В это время Е.А. Рогожин уже завершал написание докторской диссертации, в которой обобщал очень большой материал по складчатым структурам Тянь-Шаня и Большого Кавказа, и констатация такой связи была очень кстати в аргументации одного из защищаемых положений.

Как известно, первая докторская диссертация Евгения Александровича, посвященная структуре складчатых систем Тянь-Шаня и Большого Кавказа и расшифровке механизма их формирования, в 1988 году не получила одобрения оппонентов и ее защита не состоялась. Здесь имеет смысл остановиться только на самых общих причинах этой неудачи, связанных не с качеством самой диссертации, а с рядом внешних по отношению к выбранной теме диссертации обстоятельств, не зависящих от участников событий. Свою несомненно высокую квалификацию Е.А. Рогожин легко подтвердил через год, написав и защитив в 1990 году диссертацию на тему «Тектоника очаговых зон сильных внутриконтинентальных землетрясений (на примере юга СССР и Западного Средиземноморья)». Эта работа тоже обобщала собственные наблюдения Е.А. Рогожина, но уже по сейсмодислокациям многих землетрясений. Материал собирался длительное время в ходе полевых работ, в том числе в эпицентральных экспедициях ИФЗ АН СССР, в которых Евгений Александрович принимал участие.

Если оценивать общую ситуацию в геотектонике и в работах по происхождению складчатости в 1980–2000 годы, то здесь наблюдалась смена методологии исследований с умозрительных моделей, характерных для предыдущего периода, к моделям количественным, которые еще только начали разрабатываться. Успешно прошли не-

сколькими годами раньше диссертации Е.А. Рогожина, две защиты докторских диссертаций на эту тему – В.Н. Шолпо («Альпийская геодинамика Большого Кавказа», 1981 г.) и М.А. Гончарова («Инверсия плотности в земной коре и складкообразование», 1985 г.) с фактическим отрицанием горизонтального укорочения складчатых структур. В этих работах описывались природные явления, особенности складчатой структуры, а для объяснения всех фактов привлекался только один механизм — адвекция.

В работах Евгения Александровича по морфологии и механизмам формирования складчатости и в положениях, которые выносились на защиту, использовалась уже другая методология — говорилось о комбинации нескольких механизмов, в том числе о горизонтальном сокращении. И здесь возникала логическая ловушка перехода к численным моделям. В прежней методологии можно было говорить об одном механизме в принципиальном плане, при этом справедливый вопрос об интенсивности, «амплитуде» такого механизма можно было проигнорировать. Но если говорится о двух или трех механизмах, тогда сразу возникает вопрос об их соотношении, например об их «амплитудах», а также о соотношении этих механизмов во времени — одновременно, последовательно или в разное время в комбинациях с разными пропорциями. То есть при таком подходе возникает необходимость дать полноценную численную комплексную модель явления, да еще и на уровне доказательств с числами на руках.

Имевшиеся на тот момент материалы Е.А. Рогожина как по фактическому материалу (оценки «морфологической сложности»), так и по теоретическому (привлекаемые модели) такой методологии не соответствовали. В то же время на этом этапе развития работ по геотектонике исследователь из команды В.В. Белоусова не мог выходить на защиту диссертации по проблеме механизмов складкообразования и говорить о результатах, не совпадающих с принципами «фиксизма». Добавим еще сюда существовавший тогда значительный накал идеологического противостояния двух групп исследователей. Об этом говорит, например, серия дискуссионных статей, появившаяся в то время и чуть позже. В ходе этих дискуссий Е.А. Рогожин и В.Н. Шолпо последовательно отвечали на критику их построений со стороны В.Е. Хаина («Геотектоника», 1988), Ю.Г. Леонова («Геотектоника», 1989), а немного позже возникла дискуссия между В.Н. Шолпо и М.Л. Соминым («Геотектоника», 1994). Весьма характерно, что спо-

ры шли вокруг соотношения «внешнего» сокращения и «внутренней» адвекции: сначала стороны как бы соглашались, что процесс формирования складчатости на Большом Кавказе является сложным, но тут же фактически возвращались на прежние свои позиции, привычно придавая главенствующую роль одному из процессов. Это говорит о том, что методически и психологически все участники этих дискуссий не сумели выйти за пределы привычных умозрительных моделей.

В определенном смысле итоги этого периода работ по выяснению механизмов происхождения складчатости были обобщены в монографии «Складчатость Большого Кавказа» (1993). В этой книге В.Н. Шолпо, Е.А. Рогожин и М.А. Гончаров дают важную сводку всей информации по геологии нескольких регионов Большого Кавказа, а также по морфологии складчатости, которая была показана как на профилях, так и на картах распределения «морфологической сложности». Что касается объяснения механизмов складкообразования, то здесь авторами привлекались сложные схемы двухъярусной адвекции, в которых горизонтальное сокращение как бы признается, но считается локальным. В конечном счете, на мой взгляд, авторы не смогли представить ясную кинематическую схему формирования складчатости, а также не ответили на прямой вопрос — существовало или нет общее сокращение пространства для всего Большого Кавказа, а если существовало, то насколько оно было большим.

Незадолго до появления этой книги наше с Евгением Александровичем партнерство по исследованию складчатости очень надолго прервалось. Произошло это в результате попытки определить «амплитуду адвекции» в структурах Северо-Западного Кавказа по нескольким профилям, которые им были незадолго до этого составлены. Представлялось, что они дополняют материалы по Юго-Восточному Кавказу и коэффициент корреляции между «амплитудой адвекции» и «морфологической сложностью» складчатости удастся определить точнее. Неожиданно оказалось, что по той же номограмме, которая раньше успешно была использована, в этом районе «амплитуда» получалась отрицательная, а это, разумеется, никакого физического смысла не имело. Метод, такой удачный на первый взгляд оказался скомпрометирован.

Беглый анализ ситуации показал, что этот неприятный эффект связан с аномальными наклонами осевых поверхностей складок — структура оказалась «синвергентной» (наклоны поверхностей были

к оси антиклинория), которая отличалась от стандартной («дивергентной») морфологии, наблюдающейся в других частях Большого Кавказа. Стало понятно, что базовая модель «адвекция плюс сокращение» должна быть серьезно модифицирована. Для этого следовало разработать более совершенные методы диагностики механизмов и получить разумный результат быстро, за один-два года, никак не получится. Евгений Александрович был этими результатами сильно разочарован и, соответственно, использование этого метода и публикации материалов по оценке «амплитуды адвекции» прекратились.

Далее, очень длительное время, лет 15–20, методы диагностики механизмов формирования складчатости в природных структурах и в моделях, а также методы восстановления складчатых структур развивались мною самостоятельно.

Прежде чем перейти к финальной части повествования, надо, вероятно, обозначить современное положение дел в исследованиях складчатых структур на «другой» стороне — у сторонников тектоники плит и в основном в развитых странах Запада. На мой взгляд, здесь по этому направлению исследований все обстоит откровенно плохо. С самого начала зоны складчатости в рамках этих представлений являлись не объектами исследования, а только признаком наличия конвергентных структур, поэтому специальное изучение таких структур, как правило, никем не проводилось.

Надо добавить, что в конечном счете споры двух сторон касались и касаются того, как именно надо достраивать ту структуру, которая видна на поверхности — на глубину 10–50 км и в пределы размытой ее части. В этом отношении представления мобилистов о структуре «аккреционной призмы» как в теоретическом виде, так и в конкретных структурах за прошедшие 40 лет никак не поменялись. Например, для Большого Кавказа до сих пор актуальными являются профили С.И. Дотдueva («Геотектоника», 1986), носящие принципиальный, «концептуальный», характер и не имеющие никакого отношения к реально существующим структурам, зафиксированным на геологических картах и в опубликованных детальных структурных пересечениях. Профили С.И. Дотдueva в его авторской рисовке фактически иллюстрируют то, как должна, на его взгляд, выглядеть структура Кавказа в ситуации А-субдукции и не более того.

Недавно один из профилей этого автора был «значительно улучшен» путем составления сбалансированного, как декларировалось,

разреза (Tectonics, 2016, V. 35), но качество проделанной работы оказалось крайне невысоким. В частности, основные авторы, E. Cowgill и С. Trexler, просто не имеют представления о том, что метод составления сбалансированных профилей, который они использовали, разработан для разрезов флоранда, и что имеется ряд ограничений по морфологии структуры. По этой причине метод не может применяться к сложной складчатости хинтерланда.

Если говорить в целом о наборе основных методов исследования, то у современной геодинамики отсутствуют, как ни странно, сколько-нибудь надежные методы определения величин сокращения для структур среднего размера (5–7 км) и для профилей длиной 10–50 км целиком. Есть приемы, которые реально используются для определения сокращения, но они применимы только к очень коротким профилям – от 0.1 до 2–3 км длиной, и требуют очень больших затрат времени и сил. Весьма показательно также, насколько подробно в современных учебниках по геотектонике и геодинамике излагается информация о внутренней складчатой структуре зон коллизии. Такие сведения там практически отсутствуют, несмотря на то, что исследования континентальной тектоники и подвижных поясов продолжаются уже почти 200 лет и, казалось бы, на недостаток материала никак нельзя пожаловаться.

Таким образом, в рамках обсуждаемых представлений тектоники плит начала XXI в. вообще не идет речь о том, чтобы тектонисты этого направления как-то систематизировали и обобщили накопленную за многие десятилетия информацию о строении складчатых систем. Можно лишь сожалеть, что колоссальный по объему материал полевых наблюдений, накопленный за последние 100–150 лет нашими предшественниками, в западных странах в настоящий момент фактически утерян для современной геотектоники как науки. Учитывая, что за последние 40 лет никаких принципиально новых моделей формирования континентальной коры из осадочных комплексов не появилось, а имеющиеся модели остаются крайне примитивными, предлагаемая нами в ряде докладов оценка состояния современной геодинамики как «тяжелый методический кризис» краски не сгущает. На наш взгляд, связано это как раз с потерей всей информации о структуре и механизмах формирования складчатости в центральных частях подвижных поясов — в хинтерланде.

Очень коротко надо сказать о том, какие результаты были получены в ИФЗ РАН за последние годы в развитие того направления ис-

следований, которое было заложено еще В.В. Белоусовым. Опираясь на детальные структурные профили и на замеры ряда параметров в складчатых «доменах», сейчас есть возможность строить сбалансированные по объему пород модели осадочного чехла как для отдельных профилей (2D-модели), так и для совокупности ряда соседних профилей (квази 3D-модели). Для блоков среднего размера (5–7 км длиной по профилю, это «структурные ячейки») вполне надежно определяется несколько важных параметров — величина сокращения, современная глубина кровли фундамента, совокупная амплитуда поднятия и размыва кровли осадочного чехла и другие показатели. Распределение этих параметров по площади уже исследованных зон складчатости указывает на существование устойчивых структур в кровле фундамента (см. мою докторскую диссертацию, 2015 г.).

Поскольку ряд параметров связан с историей развития исследованных структур, удалось методами статистического исследования массива этих численных данных (используя факторный анализ, вместе с Е.С. Горбатовым) обнаружить два реально действующих в природе механизма, или процесса, отвечающих за геодинамическое развитие структур в Большом Кавказе («Геодинамика и тектонофизика», 2018, № 3). Было показано, что первый по значимости процесс, названный «изостазия», отвечает за вертикальные движения, сопровождающие осадконакопление и горообразование. Связан этот процесс с уменьшением объема пород кристаллического слоя коры; это происходит за счет того, что часть пород коры уплотняется до «мантийных» значений. Второй процесс — «сокращение», соотносит амплитуду поднятия и размыва верхней части осадочного слоя на последней стадии развития структуры с величиной сокращения пространства. Этот процесс также связан с изменением значений плотности пород, но здесь породы мантии свою плотность уже уменьшают и становятся «коровыми». Эти два процесса охватывают верхние 100–200 км литосферы, именно они в принципе обеспечивают возникновение складчатых структур — без действия этих процессов невозможно объяснить появление как складчатых комплексов, так и горных сооружений.

Если соотносить эту информацию с положениями современной геодинамики и основными геофизическими моделями, в которых такие процессы никак не предусмотрены, то очевидно, что здесь в ближайшем будущем встанет вопрос о глубокой ревизии всех положений геодинамики. Если рассматривать эти результаты под углом обсуждавшийся выше идеологической борьбы «фиксизма» и «мобилизма»,

то в данном случае результат указывает на правоту «фиксизма» — история осадконакопления и всех последующих деформаций связана с влиянием очень глубоких структур мантии на длительный циклический процесс развития коры именно над этими объемами мантии. Случайным образом происходящие горизонтальные перемещения блоков континентальной коры, которые утеряли или никогда не имели связи с глубокими частями мантии (а это и есть суть «мобилизма») такие явления объяснить не могут. Здесь же надо заметить, что реально существующая величина сокращения структур Большого Кавказа оказалась намного меньше тех значений, которые декларируются в умозрительных схемах сторонников тектоники плит.

Если историю развития исследований по теме механизмов складкообразования, и шире — процессов формирования и преобразования блоков континентальной коры, рассматривать в качестве обычного в науке пути ее развития от стадии умозрительных моделей и эмпирических обобщений к стадии количественных моделей и построения строгой теории, то, на мой взгляд, сейчас сделаны только самые первые шаги в построении необходимых точных моделей этих сложных процессов.

Все эти результаты были получены на основе детальных структурных пересечений, составленных и опубликованных главным образом Евгением Александровичем Рогожиным. Одним из параметров, который можно в принципе получать по таким данным, является структура поверхности кровли фундамента, в том числе — глубина кровли фундамента в разных блоках, разделенных крупными разломами, включая три стадии их развития — доскладчатую, постскладчатую, доорогенную, и современную, посторогенную. Это означает, что у нас появился инструмент изучения истории движения по крупным разломам и он может быть использован в том числе для целей оценки сейсмической опасности.

Имея в виду этот важный аспект, два года назад у меня возникла договоренность с Евгением Александровичем использовать его архивные материалы для изучения южного ограничения Большого Кавказа на территории Азербайджана. Все необходимые материалы были от него мною получены, и первый пробный профиль был восстановлен. Я был очень рад возобновлению совместной работы; первые обсуждения полученного материала вселяли оптимизм, возникла договоренность о совместной статье и о включении результата в отчет по российско-азербайджанскому гранту. Была написана

и в начале лета 2020 г. передана Е.А. Рогожину структурная часть большой статьи, в которой предполагалось показать связь структуры фундамента и современной сейсмичности. К сожалению, в силу очень большой занятости Евгений Александрович, насколько мне известно, не успел ничего сделать по этой статье до своего неожиданного ухода в апреле 2021 года. Но есть договоренность с его сотрудниками о том, что работа в этом направлении будет нами продолжена.

Завершая повествование, хочется обратить внимание читателя на ряд обычно не очень хорошо осознаваемых обстоятельств, связанных с работами по проблеме складкообразования. Прежде всего, в эти исследования включаются объекты самого разного размера — от включений (конкреции, фауна) размером 1–2 см внутри слоев или даже деформированных зерен терригенных пород (самые малые объекты) до складчатых систем (Большой Кавказ, например) и подвижных поясов в целом. Все эти объекты имеют не только разный размер, но и разные свойства. Например, по вертикали их протяженность может составлять от первых сантиметров до первых сотен километров. Соответственно, модели их формирования и методы их исследования будут разными. Сам объект, если брать иерархический уровень тектонической зоны, имеет длительную историю формирования и несколько стадий развития на протяжении примерно 200 млн лет, а на каждой стадии могут действовать свои механизмы или комбинации механизмов образования структур. В моделях деформирования, кроме их кинематики и использования законов механики, во многих случаях надо учитывать еще и процессы метаморфизма, т.е. законы химии. Все объекты могут изучаться как расчетными методами моделирования, так и в физических экспериментах. Для анализа глубоких частей складчатых структуры широко используются геофизические данные. Плюс к этому общие законы преобразований осадочных толщ в кристаллический слой континентальной коры очень полезно изучать на примерах самых разных по возрасту структур, не только альпийских, но и сформированных в другие глобальные эпохи тектогенеза как фанерозоя, так и более древних этапов развития планеты.

Весьма важно, что материал для этих исследований должен быть получен при изучении природных структур в поле; это безусловно необходимая часть общей работы. И все эти аспекты и полученные результаты как-то надо друг с другом согласовывать, если мы хотим понять законы развития земной коры. Совершенно очевидно, что ни

один исследователь не только не сможет удерживать в памяти всю нужную информацию, но и не в состоянии обладать одинаково высокой квалификацией по всем этим направлениям науки. Это означает, что знания по этой проблеме распределены в геологическом сообществе среди многих исследователей и совокупное мнение специалистов будет со временем меняться. Даже существование ошибочных взглядов и моделей в таком сложном научном процессе является важным — в этом случае понятно, какие направления исследований перспектив на успех не имеют. Фатальным для науки может быть только одно — отсутствие информации или ее потеря.

На мой взгляд, более сложную комплексную тему исследований как в геологии, так и в других науках найти будет весьма затруднительно. В период наиболее интенсивных исследований проблемы складкообразования, в 1970–1990 гг., именно непрерывная работа, обмен мнениями и информацией в коллективах, руководимых В.В. Белоусовым, обеспечивали значительный научный прогресс. И очень тревожно то, что сейчас в России по всем этим проблемам работают только отдельные ученые. Опасность полной утери важнейшей информации, как это, судя по всему, уже произошло за рубежом, существует как вполне реальная. Одна из насущных задач в связи с этим сейчас — привлечение к этим работам новых исследователей.

Достаточно обширный материал структурных пересечений как составная часть этого комплекса работ, доступный сейчас для исследований по проблеме механизмов складкообразования, собирался не только Евгением Александровичем Рогожиным. Есть хорошего качества опубликованные профили по Северо-Западному Кавказу, составленные Т.В. Гиоргобиани. Другие такие профили из его архива, по его устному сообщению, общей длиной около 1000 км, охватывают почти весь Большой Кавказ.

Протяженные детальные (М. 1:10 000 масштаба) профили через Таласский Алатау, составленные геологами МГУ (сейчас их владелец — Наталья Сергеевна Фролова) имеют очень хорошее качество. Они в настоящее время являются основой для работ небольшой команды исследователей. Среднего качества профили были составлены для Чиаурской тектонической зоны (Ф.Л. Яковлев). Для Дагестана В.Н. Шолпо опубликовал профили через зоны полной линейной складчатости и зоны коробчатых складок. К сожалению, в той версии, которая опубликована в его монографии 1964 г., профили имеют не-

высокое качество; хотелось бы где-то в архивах найти исходные, более качественные варианты этих пересечений.

На фоне всего массива этих полевых данных профили, составленные Евгением Александровичем, резко выделяются обилием и высоким качеством материала. Именно этот материал позволил получить принципиально новые результаты, которые иным путем просто не могли быть получены. Не будет преувеличением сказать, что исследовательская деятельность Евгения Александровича Рогожина в области изучения складчатых структур обеспечила не только сохранение всего направления исследований, но и является основой дальнейшего продвижения по пути создания количественных моделей развития блоков континентальной земной коры.

А.М. Корженков

ВОСПОМИНАНИЯ О ПРОФЕССОРЕ ЕВГЕНИИ АЛЕКСАНДРОВИЧЕ РОГОЖИНЕ

Я познакомился с Евгением Александровичем сначала заочно. Нет, конечно, я знал, читал его статьи по сейсмостектонике отдельных регионов России, но в 1997 году выходит наша совместная статья¹. Эта работа была посвящена анализу последствий сильного Суусамырского землетрясения, произошедшего в 1992 г. в Северной Киргизии. Сам Евгений Александрович на его эпицентральное обследование по каким-то причинам приехать не смог, но прислал свою команду под руководством замечательного специалиста и очень приятного человека – Бориса Михайловича Богачкина. Хотя наши отряды (Киргизского института сейсмологии, где я работал в то время, и ИФЗ РАН) работали раздельно, но иногда встречались в поле. Мы обменивались результатами, обсуждали полученные данные, подружились и решили, в конце концов, подготовить совместную статью для весьма уважаемого журнала «Физика Земли».

Личное знакомство с Евгением Александровичем произошло позже. Это был 2008 год. Я со своими британским и итальянским коллегами подготовил проектное предложение для НАТО. У этой воинственной организации имеется программа «НАТО для мира и безопасности», получив грант которой, можно было заняться и изучением сейсмогеологических проблем. Сначала надо было подготовить краткое – 10-страничное проектное предложение, которое изучается экспертами НАТО. Если оно им приглянулось, эксперты просят подготовить полное проектное предложение на несколько

¹ Богачкин Б.М., Корженков А.М., Мамыров Э., Нечаев Ю.В., Омуралиев М., Петросян А.Э., Плетнев К.Г., Рогожин Е.А., Чаримов Т.А. Структура очага Суусамырского землетрясения 1992 г. на основании анализа его геологических и сейсмологических проявлений // Физика Земли. 1997. № 11. С. 3–18.

десятков страниц, которое уже участвует в конкурсе на получение грантов. Наше краткое предложение вызвало интерес, и было предложено подготовить и представить полное проектное предложение, что мы и сделали. Полное предложение также вызвало интерес у спонсоров программы и меня с британским соруководителем потенциального проекта пригласили в Брюссель в штаб-квартиру НАТО для собеседования. В этом интересном месте я впервые встретился и лично познакомился с Евгением Александровичем. Он со своими коллегами из ряда бывших соцстран также прошел все этапы отбора и был приглашен на окончательное собеседование.

Евгений Александрович произвел на меня сильное впечатление. Очень крепкий физически человек, уверенный в своей правоте, эрудированный, активный, постоянно пытающийся заинтересовать присутствующих своими исследованиями и вовлечь их в орбиту сотрудничества. При всех этих качествах Евгений Александрович не лебезил, не заискивал, не унижался перед иностранцами, как делали некоторые приглашенные в надежде получить грантовую поддержку. Я как-то сразу стал брать с него пример — пример человеческой порядочности при непростых политически-финансовых обстоятельствах. Мне показалось, что мы сразу стали симпатизировать друг другу.

После защиты докторской диссертации в 2007 г. я начал искать место в России, куда бы я смог переехать и найти работу по специальности. Попытка устроиться в Кубанском госуниверситете не удалась. Однако сразу же после защиты диссертации я получал от некоторых сотрудников ИФЗ неоднократные приглашения об устройстве к ним на работу. И вот: есть договоренность с начальством и дело о моем трудоустройстве слушается в 2011 г. на Ученом совете. До этого ученый секретарь института сообщил, что юридически мне не обязательно присутствовать на самом заседании. Я все еще жил в Бишкеке и на заседание Ученого совета не приехал. Тем не менее некоторые члены совета были недовольны отсутствием соискателя на должность главного научного сотрудника, и председатель заседания — тогдашний директор ИФЗ академик А.О. Глико, предложил снять мою кандидатуру с рассмотрения. Однако тут попросил слово заместитель директора проф. Е.А. Рогожин. Евгений Александрович сообщил присутствующим, что хорошо знает меня лично, знает мои научные публикации, и что если ИФЗ возьмет меня на работу, то это будет хорошим приобретением для института. После такой

характеристики меня приняли на работу! Таким образом, в ИФЗ РАН я оказался с легкой руки Евгения Александровича.

Мы стали теснее общаться с Евгением Александровичем при частых встречах в институте. Во время одной из таких встреч я пригласил его принять участие в одной из моих экскурсий, которые я часто проводил для своих друзей и коллег в Иссык-Кульской котловине Киргизии. Полистав мой экскурсионный путеводитель, Евгений Александрович согласился.

До выезда на озеро мы решили посетить эпицентральной зону Суусамырского землетрясения. Поездка началась из столицы Киргизии – г. Бишкек (бывш. Фрунзе). К ней присоединился проф. Миклош Казмер — зав. палеонтологическим отделом Университета им. Л. Этвёша в Будапеште. Проехав по одной из ветвей Великого шелкового пути на запад, мы повернули на юг и начали затяжной подъем через Киргизский хребет вдоль долины реки Кара-Балта (Черный топор).

Преодолев центральную часть хребта через автомобильный тоннель перевала Тюе-Ашу, мы очутились в Суусамырской долине. Там осмотрели так называемый восточный сейсмоуступ, образовавшийся во время землетрясения 1992 г., а также «выпрыгивавшие» в сторону эпицентра камни на поверхности позднечетвертичной аллювиальной террасы. Увидели также оползень, сошедший с южного склона внутривпадинного поднятия Чет-Корумды. Завершением экскурсионной части было посещение участка Токойлу (Лесистый) с сеймотектоническими палеосейсмодислокациями: древними сейсмоуступами и ветровыми брешами в них, от которых начинались деформированные теперь древние ирригационные арыки, построенные еще саками (скифами) — земледельцами.

На следующее утро наш автомобиль, управляемый знаменитым водителем Нурдином (именно ему была посвящена книга: *Уфимцев Г.Ф., Корженков А.М., Мамыров Э.М.* Очерки рельефа и морфотектоники Тянь-Шаня. Новосибирск: Гео, 2009. 129 с.), двигался на восток по Чуйской долине, окруженной хребтами Заилийским — на севере и Киргизским — на юге. В районе города Токмак мы заехали в археологический комплекс Бурана – бывшую столицу Караханидского ханства город Баласогун. Город был разрушен и оставлен жителями в 1475 году во время сильного землетрясения. Кроме оплывших, кое-где раскопанных холмов сохранился средневековый минарет (частично восстановленный и отремонтированный в советское

время), верхняя конусообразная часть которого немного сместилась и наклонилась в сторону эпицентральной зоны. Профессоры Казмер и Рогожин долго пытались измерить с верхушки минарета направления смещения и наклона его верхней части.

По мере нашего движения на восток долина постепенно сужалась и через пару часов мы подъехали к месту ее замыкания. В устье важнейшего притока реки Чу — реки Чон-Кемина мы сделали небольшой перерыв для отдыха и поедания вареной кукурузы. Здесь ее продают десятки продавцов, вываривая кукурузу на глазах у покупателей в огромных котлах или кастрюлях. Долина Чон-Кемина известна тем, что на всем протяжении она разорвана 200-километровым сейсмогенным разрывом, образовавшимся при сильном землетрясении 1911 г. Западное окончание этого разрыва мы и осмотрели с участниками экскурсии.

После отдыха и уничтожения двух початков кукурузы каждым участником экскурсии мы въехали в знаменитое Боомское ущелье — в долину прорыва реки Чу, в ее antecedentный участок. В Бооме мы остановились у так называемого Хитрого домика — бывшей советской столовой. Здесь, на левом склоне долины реки Чу, прекрасно видно замыкание — периклиналь небольшой неотектонической синклинали, выполненной красноцветами, в подошве которых залегают черные базальты палеогенового возраста. Это грабен-синклиналь, так как с одной стороны он оборван по разлому-надвику. Здесь Евгений Александрович аккуратно поправил мой рисунок в путеводителе, указав на задираание — волочение кайнозойских слоев в приразломной зоне.

Нельзя не остановиться на заключительной точке нашего дневного путешествия перед въездом в столицу Западного Прииссыккулья город Балыкчи (в советское время — Рыбачье). С автомобильной трассы было видно восточное замыкание Киргизского хребта и огибание его рекой Чу. Неясным оставался вопрос: почему река Чу, выходящая из ущелья в Киргизском хребте, не впадает в озеро Иссык-Куль, как когда-то, а поворачивает на север, течет вдоль подножия массива Кызыл-Омкул и потом сворачивает на запад, чтобы «пропилить» новое, Боомское, ущелье? Такое «поведение» реки академик И.П. Герасимов называл «палеогеографической загадкой Иссык-Куля». Загадка имеет простое решение для специалиста по структурной геоморфологии. Путешественники пришли к заключению, что рост молодого

антиклинального поднятия Боз-Бармак (Пять пальцев) на пути Чу и привел к отклонению ее русла.

Утром следующего дня мы отправились на северо-восток от города Балыкчи в долину реки Иири-Талды-Булак, дренирующей южный склон хребта Кунгей Ала-Тоо. Там участники экспедиции осмотрели очень интересный археологический объект: долговременную стоянку кочевников — таш коро (каменная изгородь). Наши ранние работы в этой долине показали проживание там человека — каменные постройки, возведенные уже 3000 лет назад так называемыми андроновцами — «ариями». Основную площадь на этом объекте (более 1 км²) занимали каменные постройки — изгороди для скота и укрепительные камни для юрт, возведенные средневековыми тюрками. Обнаружили мы там и «усадьбу богатого человека», построенную, по всей видимости, в начале XX века. Все эти постройки были разрушены и повреждены во время значительных землетрясений, произошедших за последние 3000 лет.

Во время форсирования реки — прыжка через протоку Иири-Талды-Булака, Евгений Александрович поскользнулся и упал. Ничего страшного с ним не произошло, но удар пришелся на портативный GPS-приемник, который от удара сломался. Этот приемник Евгений Александрович позаимствовал у меня на время экскурсии и очень переживал о поломке: чувствовал себя передо мной очень виноватым, неоднократно извинялся, несмотря на мои заверения, что GPS-приемник на время экскурсии мне совершенно не нужен.

Соседняя к востоку крупная речная долина, которую мы также посетили в этот день — Тору-Айгыр, — пример долговременного проявления сейсмической активности по разломной зоне: за последние 157 тыс. лет по Южно-Актекинскому разлому имели место не менее 15 сильных морфогенных землетрясений. Долина является также наглядным примером постепенного распространения тектонической активности от краевых разломов в глубь — к осевой части Иссык-Кульской впадины. Тору-Айгыр в своем среднем течении сечет Кызыл-Кульгорскую антиклинальную структуру, на северном крыле которой видно конформное налегание кайнозойских отложений на доорогенный пенепплен, а также палеоценовые базальты — свидетельство условий растяжения на Тянь-Шане перед началом горообразовательного процесса в условиях сжатия.

Популярнейшими туристическими объектами в Северном Прииссыккулье являются Григорьевское и Семеновское ущелья — ан-

тецедентные долины рек Чон-Аксуу и Кичи-Аксуу соответственно. Чаще всего туристы посещают долины этих рек, чтобы полюбоваться отвесными скалами, окруженными тянь-шаньскими елями, увидеть и послушать шум водопадов и порогов, а также насладиться видом небольших горных озер, к которым по склону спускается еловый лес. Однако мало кто из туристов и их гидов знают, что субширотные участки перечисленных речных долин протекают по тектоническому грабену, обусловленному драматическими сейсмическими подвижками по Аксуйскому краевому разлому. Так, этот разлом в 1911 году вспоролся во время сильного Кебинского землетрясения с интенсивностью сейсмических колебаний в $I_0 = \text{X-XI}$ баллов. По сей день в субширотных участках долин рек виден сейсмоуступ — выход сейсмического очага упомянутого землетрясения на поверхность. Его высота — вертикальное перемещение за одно событие достигла 10–12 м, а это высота 3–4-этажного дома! Этот уступ подпрудил речки — правые притоки реки Чон-Аксуу. В месте встречи речек с уступом образовались красивейшие подпрудные озера (рис. 1). В поднятом же крыле разрыва уступа образовались так называемые «ветровые бреши» — покинутые русла речек, по которым вместо воды с 1911 года «гуляет» ветер (рис. 2).

Мы уже упоминали, что Семеновское и Григорьевское ущелья покрыты еловым лесом. Когда мы проезжали через один из его



Рис. 1. Сейсмоуступ, возникший во время землетрясения 1911 г., подпрудживает «Второе» озеро. На переднем плане — значительный массив грунта во фронте уступа отсел к югу при длительных сейсмических колебаниях

участков, Евгений Александрович вдруг попросил остаться. Его внимание привлекло странное «дупло», расположенное в нижней части ствола елки (рис. 3). Евгений Александрович объяснил участникам экскурсии, что подобные «дупла» образуются в случае удара дерева во время камнепада.

Уступ Кебинского землетрясения, выраженный на протяжении 200 км, внезапно заканчивается при пересечении им реки Чон-Байсоорун (бывш. Каменка). Поверхностное выражение сейсмогенного разрыва еще видно в изгибе асфальтового покрытия дороги Джаркымбаево–Караул-Дебе (Караульный холм) (рис. 4). Экскурсанты сделали в этом месте остановку и обошли интересный участок в попытке обнаружить причину этой структурной загадки.

Наша поездка по сельской дороге на север от трассы Балыкчи–Каракол (Рыбачье–Пржевальск) была неслучайна. На северной окраине села Караул-Дебе находятся развалины средневековой Каменской крепости. Ранее археологи и историки считали, что это военное сооружение было разрушено во время прихода сюда войск Чингисхана в XIII в. Однако нашими исследованиями было установлено, что крепость погибла при сильном землетрясении XII в. Сейсмический разрыв вышел на поверхность прямо на территории крепости, сместив ее стены на несколько метров по горизонтали и по вертикали и уничтожив все остальные постройки фортификационного сооружения. Евгению Александровичу не приходилось еще видеть подобных



Рис. 2. Ветровая брешь — сухое палеорусло небольшой реки, осушенное в связи с образованием сейсмоуступа. Евгений Александрович (стоит спиной) находится на бровке уступа и замеряет компасом его простирание. Проф. Миклош Казмер стоит на восточной стороне «ветровой бреши»



Рис. 3. Профессор Рогожин фотографирует «дупло» в нижней части ели, образовавшееся вследствие сильного удара во время камнепада



Рис. 4. Асфальтовое покрытие сельской дороги поднимается во фронте сейсмоуступа Кебинского землетрясения 1911 г. Евгений Александрович пытается понять: почему сейсмогенный разрыв внезапно заканчивается в нескольких метрах к востоку от дороги. На заднем плане южный склон хребта Терской Ала-Тоо

деформаций. Он и проф. Казмер долго ходили вдоль разрыва и по территории крепости, что-то измеряя и записывая в полевые дневники (рис. 5).

Продвигаясь на восток по северному берегу Иссык-Куля, мы не могли не заехать на развалины Курментинской крепости, также относящейся к караханидскому времени. Именно с этой крепостью связывают местонахождение средневекового монастыря армянских братьев, у которых якобы находилась рака с мощами св. Матфея — апостола и евангелиста. Подойдя к стенке недавнего археологического раскопа (рис. 6), рассекшего стену крепости насквозь, мы обсудили с Евгением Александровичем деформации в стене, образовавшиеся во время по крайней мере двух сильных землетрясений.

Объехав озеро с востока и переночевав в одном из гостевых домов города Каракол (бывш. Пржевальск), мы въехали в ущелье Джеты-Огуз (Семь быков) (рис. 7) — уникальный геологический памятник мирового значения. Здесь красноцветы миоцена наклонены к северу неотектоническими движениями, а эрозия сделала из них «башенный» ряд. Окруженные зелеными елями красные скалы на фоне голубого неба и белых облаков — вид фантастический по красоте! Кроме того, в долине Джеты-Огуза виден один из наиболее полных разрезов кайнозойской молассы всего Иссык-Кульского региона. Любые геологические и просто туристические экскурсии включают посещение этого памятника в свой план.

Быть в Караколе и не посетить могилу великого русского путешественника Н.М. Пржевальского — невозможно для любого



Рис. 5. Е.А. Рогожин на территории средневековой Каменской крепости в Северном Прииссыккулье. За ним видна одна из оплывших стен древнего фортификационного сооружения



Рис. 6. М. Казмер и Е.А. Рогожин (справа на снимке) обсуждают строение стенки средневековой Курментинской крепости в Северо-Восточном Прииссыккулье



Рис. 7. Скала «Разбитое сердце» в ущелье Джеты-Огуз в Юго-Восточном Прииссыккулье. Стоят, взявшись за руки (слева направо) проф. М. Казмер, А.М. Корженков и проф. Е.А. Рогожин

естествоиспытателя, путешественного вокруг Иссык-Куля! Наша группа приехала на пристань города, где находится музей и памятник Николаю Михайловичу (рис. 8). Мы прослушали интересную лекцию в небольшом музее, постояли у могилы Пржевальского и сфотографировались на фоне памятника величайшему исследователю Высокой Азии.

Посещение древних памятников — увлекательное занятие для каждого культурного человека. Археологические монументы часто встречаются на побережье Иссык-Куля, так как оба берега когда-то были ветвями Великого шелкового пути. Особенно много сохранилось построек времени живших здесь караханидов (X–XII вв.), которые строили не очень хорошо, но зато много. Чаще всего путнику встречались так называемые «торткули» — укрепленные караван-сарай. В обычное время они служили ночным пристанищем для многочисленных караванов, шедших по торговому тракту, а в случае войны все окрестное население укрывалось за стенами торткуля, отбивая атаки врагов. Такой укрепленный караван-сарай (рис. 9) мы посетили с Евгением Александровичем на окраине села Тоссор, расположенного как раз на половине караванного пути, проходившего когда-то по южному берегу озера. Здесь также имелся археологический раскоп через восточную стену торткуля, в борту которого были видны следы двух сильных землетрясений.



Рис. 8. Е.А. Рогожин и М. Казмер у памятника Н.М. Пржевальскому в г. Караколе — столице Иссык-Кульской области, носившей ранее имя великого путешественника



Рис. 9. Южная оплывшая стена Тоссорского городища в Южном Прииссыккулье. На ее вершине находятся захоронения XX в.

Рядом с селом Тоссор находится так называемая Долина сказок (урочище Согуты). Здесь в юрское время происходило накопление тонкозернистых осадков различного цвета: желтого, голубого, зеленого, красного... Неотектонические движения поставили изначально горизонтальные слои «на голову», а ветер, дождь, снег, солнце, гравитация, землетрясения «вырезали» из вертикально стоящих слоев «Великую китайскую стену», «замки» и «крепости», фантастических животных и птиц, «пальцы» и «подушки». Долго бродили участники экскурсии по этому сказочному месту (рис. 10), поражаясь творениями природы.

Будет слишком долго перечислять все места, которые мы посетили во время экскурсии 2013 года, и их особенности. Иссык-Кульская котловина, как и весь Тянь-Шань, является наглядной и бесконечно прекрасной «открытой природной лабораторией», по меткому выражению американского ученого Питера Молнара. Важно то, что в течение нескольких дней мне посчастливилось находиться рядом с Евгением Александровичем, лучше узнать его. Поражало то, как



Рис. 10. Участники экскурсии в «Долине сказок» в Южном Прииссыккулье

быстро он схватывал суть рассказанного, выдвигая при этом встречную гипотезу.

Евгения Александровича нельзя было назвать добреньким: жизнь и работа в должности заместителя директора ИФЗ РАН закалили его, надели «непробиваемую броню» и некую «маску». Эти дни, проведенные вместе, позволили через «доспехи» и «маску» увидеть воспитанного, умного и порядочного человека, не лишённого обычных человеческих качеств, окончательно ставшего для меня старшим товарищем и наставником.

Мне думается, что и Евгению Александровичу очень понравилась наша поездка. Вместе с ним мы начали искать возможности получить финансирования для работы на Тянь-Шане. Начали готовить проектные предложения для Российского фонда фундаментальных исследований. Дважды получали финансирование, но лишь однажды (из-за чрезвычайной занятости Евгения Александровича) нам удалось еще раз совместно выехать в Киргизию. Это было в 2016 г.



Рис. 11. Утром во двореке гостиницы «Алия» в г. Балыкчи на самом западе Иссык-Кульского побережья перед выездом в маршрут. Сидят (слева направо): Нурдин Ажиканов (водитель), Евгений Александрович Рогожин и А.М. Корженков

На ночь наша группа остановилась в гостинице «Алия» в Балыкчах. Бывшая советская ведомственная гостиница была отремонтирована, установлена новая сантехника и новая, современная мебель. Хозяин гостиницы Урмат Барыктабасов — известная в Киргизии личность. В 2005 г. он со своими сторонниками брал «Белый дом» в Бишкеке, где заседала высшая власть республики. Супруга хозяина Алия — в прошлом известная киргизская киноактриса. Евгению Александровичу очень понравилась эта гостиница еще в первый наш приезд, особенно ее ухоженный зеленый дворик со скамейками (рис. 11) и небольшим фонтанчиком посередине. Этот дворик отделяется от Иссык-Кульского пляжа лишь железной дорогой, по которой утром и вечером проходит забавный старый локомотивчик, важно выпускающий пар и подающий частые гудки.

Первым объектом, который мы изучили, были развалины (рис. 12, 13) железоплавильной фабрики Сары-Булун караханидского возраста, раскопанный еще в советское время знаменитым киргизским археологом Д.Ф. Винником на берегу реки Чу на самом западе Иссык-Кульской котловины. Хотя глиняные стены уже в значи-

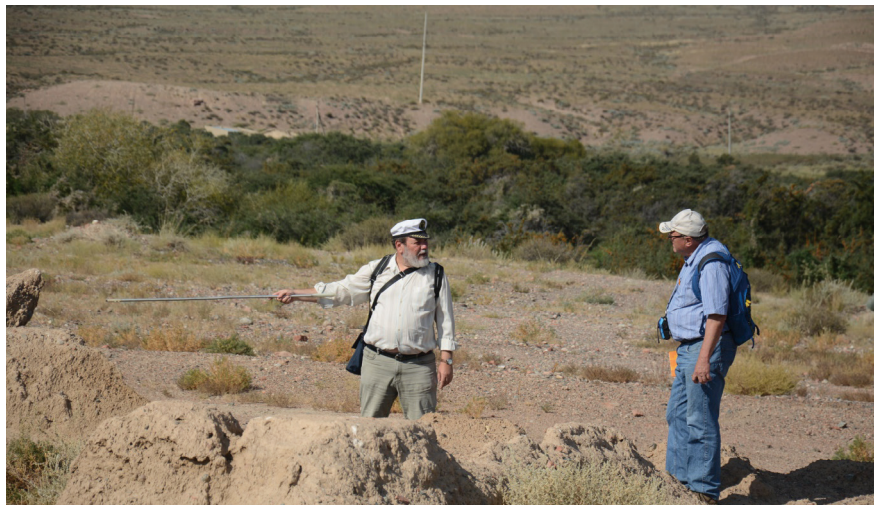


Рис. 12. Евгений Александрович Рогожин (слева) и А.М. Корженков на развалинах Сары-Булунского городища в Западном Прииссыккулье



Рис. 13. Сейсмоуступ, сформированный во время сильных исторических и палеоземлетрясений в непосредственной близости от древней железоплавильной фабрики. На заднем плане — молодое и активное антиклинальное поднятие Бозбармак. Рост этой структуры привел к отклонению русла реки Чу в западном направлении

тельной степени «оплыли» под воздействием внешних факторов, в них все еще были видны сквозные трещины, наклоны, выдвигания и изгибы в плане. Систематическое проявление этих деформаций в стенах определенных ориентировок позволили нам с Евгением Александровичем прийти к выводу о сейсмогенном происхождении этих повреждений².

Западное Прииссыккулье – очень важный тектонический узел. Здесь сходятся три главнейших хребта Тянь-Шаня: Киргизский, Терскайский и Кунгейский. Именно поэтому к этому региону приурочена интенсивная историческая и палеосейсмическая активность. Опытному взгляду структурного геоморфолога видны многочисленные сейсмоуступы – выходы разрывных плоскостей древних землетрясений на земную поверхность (рис. 14). Через один из таких уступов мы прокопали траншею (рис. 15), разрезы стенок которой позволили изучить голоценовую историю и энергетические параметры сильных землетрясений по одному из разломов.



Рис. 14. Е.А. Рогожин (слева) и А.М. Корженков в ходе обсуждения формирования молодых сеймотектонических форм рельефа на восточном погружении Киргизского хребта на западе Иссык-Кульской котловины

² Корженков А.М., Лужанский Д., Абдиева С.В., Деев Е.В., Павлис Т., Рогожин Е.А., Турова И., Юдахин А.С. О следах сильного землетрясения в стенах средневековых городищ Сары-Булун на Великом шелковом пути (Западное Прииссыккулье, Северный Тянь-Шань) // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016 . Т. 43, № 4. С. 5–20.



Рис. 15. Е.А. Рогожин и А.М. Корженков в траншее, пройденной через один из сейсмоуступов во фронте массива Кызыл-Омпул (Западное Прииссыккулье)

Мы исследовали регион при входе реки Чу в Боомское ущелье. Здесь, следуя вверх по течению реки, долина раскрывается, и путешественник попадает в Кок-Мойнокскую впадину — палеозалив озере Иссык-Куль в позднем голоцене (рис. 16). Тут видны аллювиальные террасы реки Чу, в цоколе которых выходят озерные отложения, перемежающиеся с пролювиальными осадками, принесенными с близрасположенных гор. До сих пор идут споры о причинах высокого (выше современного уровня на 55 м) стояния Иссык-Куля в прошлом. Что могло служить запрудой такому огромному водоему? Некоторые исследователи предлагают скопление айсбергов, перекрывшее выход в Боомское ущелье, некоторые — закупорку входа в Боом концом ледника, спускавшегося с окрестных гор, а кто-то — возможным крупным скальным оползнем. Мы обсудили эти вопросы с Евгением Александровичем и пришли к заключению, что все эти вопросы легко устраняются, если посмотреть на левый склон долины реки Чу. Здесь видно обнажение зоны краевого Тогуз-Булакского разлома, по которому происходит надвигание палеозойских пород хребта Кунгей Ала-Тоо на кайнозойские отложения Кок-Мойнокской впадины. Именно интенсивные

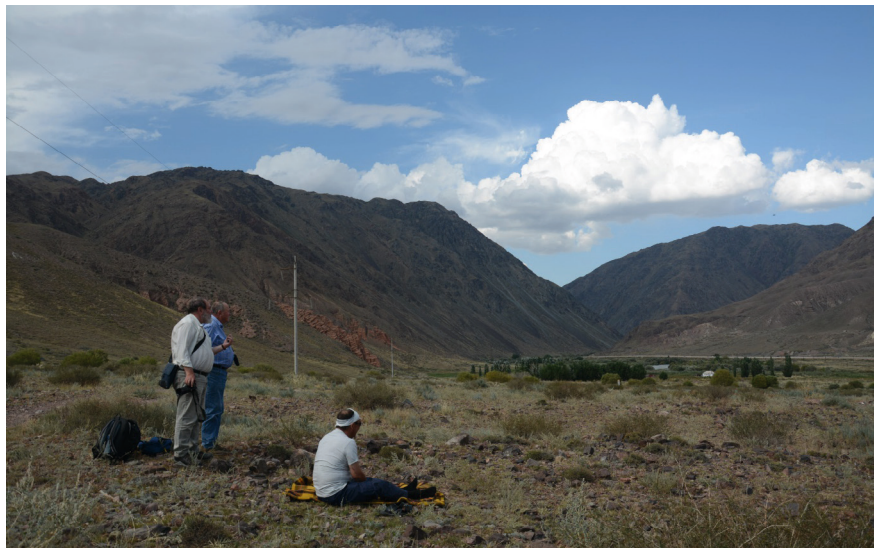


Рис. 16. А.М. Корженков и Е.А. Рогожин в Кок-Мойнокском палеозаливе озера Иссык-Куль. Сидит (Е.А. Рогожин и А.М. Корженков) наш водитель Нурдин Ажиканов с перевязанной головой, попавший, будучи пешеходом, в аварию за несколько дней до нашего приезда

сдвига-надвиговые подвижки по этому разлому, ускорившиеся (судя по многочисленным «сейсмитам» в озерных отложениях) в позднем плейстоцене, привели к образованию тектонической запруды и удерживанию озера Иссык-Куль в своем самом высоком уровне стояния — 1660 м над ур. моря.

Известна легенда о затопленной в водах Иссык-Куля крепости, где Тамерлан оставил своих знатных пленников во время своего похода на Китай. Следы монументального сооружения действительно видны в устье реки Чет-Койсуу в Северо-Западном Прииссыккулье. Мы с Евгением Александровичем выдвинулись в среднюю часть долины этой реки, в место, где она выходит из скальных образований хребта Кунгей Ала-Тоо. Там был обнаружен сейсмоуступ, через который мы заложили траншею (рис. 17), чтобы выяснить историю и параметры сейсмодислокации. Разрыв мы нашли и смещение по нему определили, но датируемый материал оказался неподходящим, так что пришлось прибегнуть к определению относительного возраста сейсморазрыва по смещению им сакского (скифского) кургана.



Рис. 17. Евгений Александрович Рогожин у южного окончания траншеи через сейсмоуступ в средней части долины Чет-Койсу в Северо-Западном Прииссыккулье

На аллювиально-пролювиальной и флювиогляциальной равнине, полого спускающейся к озеру, находятся тысячи значительных по размеру глыб, вынесенных сюда мощными потоками, прорывавшими тающие ледники последнего оледенения. Кочевники, жившие в этом районе на протяжении последних тысяч лет, приспособили один из участков с камнями под сакральный центр, где устраивались жертвоприношения и устанавливалась связь с духами. Камни покрыты многочисленными наскальными рисунками возрастом от андроновской эпохи до тюркского времени. Это место вызвало особый интерес у Евгения Александровича, он долго ходил по «каменному саду» и внимательно разглядывал петроглифы (рис. 18)³.

³ Корженков А.М., Деев Е.В., Лужанский Д.В., Абдиева С.В., Агатова А.Р., Мажейка Й.В., Меньшиков М.Ю., Рогожин Е.А., Родина С.Н., Родкин М.В., Сорокин А.А., Фортуна А.Б., Чаримов Т.А., Шен Д., Юдахин А.С. Сильное средневековое землетрясение в Северном Прииссыккулье (Тянь-Шань): Результаты палеосейсмологических и археосейсмологических исследований // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15, № 4. С. 68–88.



Рис. 18. «Сад камней» с наскальными рисунками – сакральное место кочевников на аллювиально-пролювиальной равнине в бассейне реки Чет-Койсуу. На дальнем плане – хребет Кунгей Ала-Тоо

Будучи в институте, я часто заходил в кабинет Евгения Александровича. Хотя он всегда был очень занят, но Евгений Александрович был рад моему приходу и мы обсуждали наши совместные текущие дела и строили совместные планы, в том числе и полевые. В 2020 г. им не удалось осуществиться из-за пандемии коронавируса, а в 2021 г. из-за ухода Евгения Александровича...

Евгения Александровича больше нет, но есть его дела: построенные по его изысканиям важнейшие строительные объекты, разбросанные по всей России, важные и интереснейшие публикации. Осталась его замечательная семья: супруга, дети и внуки. Продолжают профессионально расти ученики проф. Е.А. Рогожина. Осталась и пока мы живы постоянно будет оставаться в сердце память о крупном ученом и просто хорошем Человеке. Светлая память!

А.С. Алешин

Е.А. РОГОЖИН КАК НАЧАЛЬНИК

Весть о внезапной кончине Евгения Александровича Рогожина скорбью отзывалась в сердцах многих знавших его. Естественным представляется желание опубликовать сборник воспоминаний о нем, прекрасном человеке и крупном ученом. Вот и я хочу внести свою скромную лепту в это начинание. Другие соратники и ученики Евгения Александровича напишут больше и лучше меня об особенностях его научного творчества в области сейсмо тектоники. Мне же хочется отметить его уникальные, с моей точки зрения, качества как начальника.

Начальник вообще играет огромную роль в жизни работающего человека. Плохой начальник способен превратить повседневный труд работника в каторгу. Хороший начальник, напротив, может украсить даже рутинную деятельность радостью.

Моя жизненная стезя (может, в силу моего нетерпеливого характера, может, по другим неведомым причинам) не была прямой. В отличие от многих (взять хотя бы Ф.Ф. Аптикаева) я не трудился в одном, даже столь уникальном, как ИФЗ, учреждении. Меня бросало то туда, то сюда. Начальники менялись, как перчатки. И потому на эту тему я имею полное право рассуждать непредвзято.

Еще будучи студентом, я попал в Гарм, где познакомился с Игорем Леонтьевичем Нерсесовым. Это был начальник от Бога, основатель «сейсмологической Мекки» – Гарма, а потом и Талгара, державший в ежовых рукавицах сейсмологическую вольницу, что не всегда нравилось, в особенности тем, кто стремился сказать новое слово в науке. Этот «непередаваемый сплав качеств» замечательно запечатлел в своих воспоминаниях о И.Л. его ученик А.А. Лукк.

Далее судьба занесла меня во ВНИИГеофизику, в лабораторию магнитной записи под крыло немногословного Андрея Нестерovichа Федоренко, ученого, принадлежащего к старой школе советских

геофизиков. Он мало вникал в повседневную жизнь лаборатории, и мы развлекались от души, устраивая стрельбу с использованием токарного станка или подкладывая на стол соседу заряженный высоковольтный конденсатор.

Потом была семилетняя работа в МГУ, где начальником моим на первых порах был Александр Игнатьевич Заборовский, родившийся в позапрошлом веке, один из создателей отечественной разведочной геофизики, интеллигентную мягкость которого мы, молодежь, в полной мере смогли оценить только после того, как его сменил Всеволод Владимирович Федынский. Видный советский ученый, председатель Комиссии по метеоритам, он по совместительству возглавлял геофизические работы в стране. Благодаря его усилиям была сформирована сырьевая база страны, за счет которой страна выжила в трудные времена перестройки. Как начальник это был полубог, совмещавший в себе качества настоящего ученого с приемами кадровой политики советского администратора высшей категории. На кафедре он в силу своих многочисленных нагрузок бывал сравнительно мало, и мы соприкасались с ним чаще всего, когда надо было решать вопросы командировок, отпусков, диссертаций и т.п.

Из МГУ я перешел в ИФЗ, куда меня позвал А.В. Николаев. Блестящий ученый, обогативший разведочную геофизику рядом открытий и новых нетрадиционных путей развития – вспомним работы по нелинейности, шумовой диагностике геологической среды, вибрационному просвечиванию Земли, вибрационному воздействию на нефтяные пласты и еще много-много чего, чему он положил начало и что продолжается, и чему нет конца. И при всем этом как начальник он был «никакой». Он словно играл в начальника. Типичный пример: перед юбилеем А.С. Шагиняна он написал приказ, чтобы Игорь Галкин через два часа сочинил стихотворное поздравление. И подобные «новеллы» можно вспомнить на многих этапах его научной карьеры – начальник опытно-методической экспедиции ОМЭ, глава вибрационных исследований во многих организациях Академии наук, начальник НИКСЦ – Научно-исследовательского координационного сейсмологического центра, ненадолго заменившего после развала Союза доброй памяти Межведомственный совет по сейсмологии и сейсмостойкому строительству (МССС). И везде романтически настроенного начальника мигом окружали сомнительные в научном

отношении люди, усилиями которых почти всегда проваливалось в целом полезное дело.

Следующим местом моей работы был ПНИИИС – мощный и славный трудами во всем спектре инженерных изысканий в строительстве. Начальником лаборатории здесь был Николай Иванович Кригер, ученый-самоучка, необыкновенно талантливый, человек большой культуры, прошедший войну, получивший докторскую степень без высшего образования. Я многому у него научился, многим ему обязан. Но отношения у меня с ним не сложились. Трудно сказать, что было тому причиной. Может быть, авторитарность характера Н.И., не терпящего ничьего мнения, отличного от его собственного. Частично и моя вина здесь есть – я не мог сдерживать своего критического отношения к вопросам, интересовавшим Н.И., например, о «громадных запасах энергии» в форме недоуплотненных, склонных к просадкам лёссовых пород, или о практической значимости радиационного индекса сухости для локальной характеристики свойств грунтов. При желании можно было бы сгладить эти противоречия, но такого желания у нас обоих не было. И при первой возможности я «эмигрировал» в ставший родным ИФЗ под знакомое крыло А.В. Николаева.

Потом через полтора десятка лет снова зигзаг в моей карьере. Я перешел в Институт геоэкологии под начальство академика Виктора Ивановича Осипова. В.И. – воспитанник кафедры инженерной геологии МГУ. Один «из птенцов гнезда Сергеева» – так охарактеризовал его кто-то из острословов. Мне пришлось много общаться с В.И. и я с благодарностью вспоминаю годы, проведенные в ИГЭ РАН. И все же, несмотря на в целом благоприятное отношение начальства, мне, геофизику, трудно было ощущать себя в основном русле развития института.

И потому рано или поздно должно было состояться возвращение в ИФЗ, который стал мне родной гаванью. Я возглавил лабораторию сейсмического микрорайонирования в отделе Евгения Александровича Рогожина. И здесь с учетом жизненного опыта я в полной мере ощутил его качества, как начальника. Какими словами охарактеризовать эту особенность?

Недавно прошел чемпионат Европы по футболу. Можно по-разному оценить его результаты. Кто-то говорит, что уровень игры повысился, другие, вспоминая Пеле, Эйсебио, Зидана, с этим не соглашались. Но в чем согласны все – это возросший уровень судейства.

Судьи в лучших своих проявлениях старались не вмешиваться в течение игры, лишь в самых крайних случаях вступая арбитрами во взаимоотношения игроков. Наиболее удачными были матчи, в которых судей как бы не существовало вообще. Не мешать игре – вот главный принцип. Вот таким было начальничество Рогожина: не вмешиваться по мелочам, руководить только стратегически, по-крупному. Чувство команды, когда каждый знает свое место и свою роль. Искусство дирижера, который не подавляет солиста, а дает ему возможность в полной мере раскрыть свои лучшие стороны. Вспоминается в связи с этим время работы по Крымскому мосту, где эти его черты проявились наиболее ярко. На мой взгляд, это высший класс начальствования.

При этом Женья (так нежно-ласково, отнюдь не панибратски, с учетом разницы в возрасте общался я с ним) не был добреньким всепрощающим руководителем. Запомнился мне один характерный случай. Я, как завлаб, невнимательно отнесся к просьбе одного из перспективных молодых ученых о переходе в другую лабораторию. Женья не одобрил моего необдуманного решения: надо было согласовать этот переход с ним, у него были планы использовать этого ученого для работы в отделе. Жесткий выговор наедине, не прилюдно, запомнился мне навсегда. Больше такого не повторялось. Жили и работали мы в тесном единстве, ни в чем не расходясь.

И потому для меня лично весть о смерти Жени была шоком. Словно стена рухнула в доме, в котором живешь. Исчезла защита от возможных напастей. Пролетело несколько дней, прежде чем пришло осознание случившегося. Хотя невозвратимость происшедшего как была прочувствована мгновенно, так и осталась непреходящей, незаживающей раной.

Это неправда, что незаменимых людей нет. Пусть кто-то говорит и повторяет это. Для меня Женья был последним и самым неповторимым начальником.

Правда, мне уж далеко за 80... О чем это я?!

С.Д. Васютинская

КОГДА МЫ БЫЛИ МОЛОДЫМИ...

Пришло скорбное известие о безвременной кончине Евгения Александровича Рогожина. И память вернула меня в годы, когда мы были молодыми. Может быть, моя краткая заметка внесет новые краски в воспоминания об этом замечательном человеке.

Мы учились с Женей на одном потоке, но в разных группах. Поступали мы на геологический факультет МГУ в 1965 году. В тот год всем, кто не добрал на вступительных экзаменах одного-двух баллов, предлагали подать документы на вечернее отделение. Там был недобор, и многие на это согласились. Я и Женя тоже. Учились мы 6 лет, и было трудно совмещать работу и учебу. В деканате это поняли, и на нашем выпуске этот эксперимент и закончился.

Встречались мы крайне редко, на общих лекциях в аудитории 611. Женя был высокий, красивый парень, и девочки на него заглядывались. К тому же он, говорят, играл на гитаре, хотя я никогда не слышала, как это у него получается. Но мне повезло. Когда у нас начался английский язык, я оказалась с ним за одной партой. У нас была изумительная преподавательница по фамилии Ланина, имя и отчество, к сожалению, я не помню. Надо сказать, что язык нам обоим не очень давался и мы, по-моему, были чуть ли хуже всех в группе.

Много лет спустя мы оказались вместе в командировке в Иране. В Бушере на берегу Персидского залива шло строительство атомной станции. Женя несколько раз выступал с интереснейшими докладами. Однажды он меня спросил: «Ну, а ты выучила английский?» Я призналась, что нет. «А я выучил», – сказал он мне. – «Ведь пришлось ездить за рубеж». С ним вместе тогда была его очаровательная жена Елена (кстати, очень хороший переводчик, несмотря на биологическую специальность).

Я хорошо помню Женю-студента. Впоследствии мы много раз виделись на разных совещаниях и у нас на Николо-Ямской улице,

в Сейсмологическом центре, и в ИФЗ. Грустно, когда уходят умные, успешные люди, которые уже многое сделали и еще могли бы обогатить науку. Светлая ему память...

Да, еще я вспомнила, когда мы выпускались, одна девочка прочла свои стихи, конечно, неумелые, но проникнутые искренним чувством. Я их помню до сих пор:

И пусть порой мы были сонны,
И под глазами синяки.
И мы не помним, безусловно,
Того, что знают дневники.

И мы не говорим красиво,
Порой двух слов нам не связать.
Но слово доброе спасибо.
Мы в состоянии сказать!

Применительно к настоящему моменту, мне хочется сказать спасибо Жене за все хорошее, что осталось вместе с ним в воспоминаниях.

О.В. Димитров

ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА ЕВГЕНИЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА РОГОЖИНА

Я знал профессора Евгения Александровича Рогожина с начала 1990-х годов. В коротком разговоре, который состоялся при нашей встрече, он вел себя любезно и произвел на меня сильное впечатление большой профессиональной компетентностью и высоким интеллектом. В то время я был аспирантом (докторантом) Института физики Земли РАН.

На последующих встречах мы говорили о неотектонических и сейсмотектонических вопросах. Я был приятно удивлен, что он много знает о текущих геологических, геоморфологических и геофизических исследованиях на Болгарском побережье Черного моря. Евгений Александрович неоднократно выражал готовность к сотрудничеству между российскими учеными из ИФЗ РАН и болгарскими учеными из Института океанологии БАН (г. Варна). Он предлагал конкретные темы и идеи для исследований. Я понимал, что общаюсь с ученым очень высокого уровня и, конечно, это меня радовало.

В сентябре 2006 года Евгений Александрович был в экспедиции на Болгарском побережье. Тогда он работал над научным проектом с моим коллегой проф. Стефаном Шановым – ученым из Геологического института БАН (г. София). Я очень хотел встретиться с Евгением Александровичем и поехал в Каварну, где остановились участники вышеупомянутой экспедиции. Мы встретились и долго беседовали в дружеской атмосфере. Помимо науки, мы также говорили об истории и болгаро-российской дружбе. Для меня эта встреча была очень приятной.

Вспоминаю следующий случай. Через переписку и личные беседы в том же 2006 г. мы договорились подготовить предложение – тему для участия в объявленном конкурсе на исследовательские проекты по двустороннему сотрудничеству между Россией и Болгарией. В процессе подготовки документов я попросил Евгения Александровича прислать мне свою научную биографию по электронной

почте. Он прислал ее, и хотя я многое уже знал о нем, меня впечатлил размах его научной деятельности и его достижения. Я показал его биографию своим коллегам из Института океанологии БАН. Все они были очень впечатлены и выразили твердое убеждение, что сотрудничество с таким ученым будет очень полезным для нашего института и повысит наш авторитет. Они даже поздравили меня с тем, что я знаком с таким человеком.

Проф. Е.А. Рогожин дал также положительный отзыв на мою диссертацию.

Я горжусь тем, что сотрудничал с профессором Евгением Александровичем Рогожиным!

В.Б. Заалишвили

ПАМЯТЬ О ДРУГЕ. ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОЖИН

6 апреля 2021 г. скоропостижно ушел из жизни Евгений Александрович Рогожин, заведующий VII отделением Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, профессор, доктор геолого-минералогических наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации.

Наше деловое знакомство с Евгением Александровичем Рогожиным произошло в 2000 г. Именно тогда по совместному решению председателя Владикавказского научного центра РАН А.Г. Кусраева и директора Объединенного института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН академика В.Н. Страхова и при поддержке академика-секретаря Отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук (ОГГГН) Д.В. Рундквиста и лично вице-президента РАН академика Н.П. Лаверова в г. Владикавказ было создано под моим руководством Северокавказское отделение ИФЗ РАН, которое, несмотря на различные обстоятельства, успешно проработало до 2007 г. Кстати, работу Отделения курировал Е.А. Рогожин.

Необходимо отметить, что с самого начала нашего знакомства Е.А. Рогожин оставил самое приятное впечатление. Будучи докторантом ИФЗ РАН в 1991–1994 гг., я хорошо знал тамошних коллег и сразу обратил внимание на его деловые, товарищеские отношения с коллегами, умение уважительно разговаривать с собеседником, включая подчиненных, а он был тогда зам. директора Института.

В 2002 г. произошел неожиданный сход ледника Колка, имевший трагические последствия. Дальше была тесная, совместная работа по изучению проявлений схода ледника с Е.А. Рогожиным и его коллегами в горах Северной Осетии.

С июля 2003 г. Постановлением Правительства Республики Северная Осетия – Алания я возглавил Геофизический центр экспериментальной диагностики (ныне Геофизический институт ВНИЦ РАН),

который в июле 2003 г. вошел в состав Российской академии наук, что еще более упрочило наши с Е.А. Рогожиным отношения.

В 2005 г. в процессе подготовки кандидатской работы Н.И. Невской именно от Е.А. Рогожина мы получили необходимые консультации. Более того, он лично построил и прислал соискателю необходимые ей карты зон ВОЗ территории республики.

В том же 2005 г. был завершен реализуемый с 2000 г. международный проект по Программе НАТО «Science for Peace» Program Project «Seismic Risk of Large Cities of Caucasus: Tools for Risk Management», где я руководил российской частью проекта. В процессе выполнения проекта нами были впервые проведены исследования по оценке сейсмической опасности и риска достаточно обширной застройки в г. Владикавказе. Именно тогда близкое общение с Е.А. Рогожиным привело нас к необходимости дальнейшего исследования сейсмического режима территории и необходимости составления современных карт сейсмической опасности уже вместе.

С 2006 г. и фактически до конца 2019 г. Е.А. Рогожин был главным научным сотрудником нашего института. Первая карта разломов территории Северной Осетии была подготовлена им с нашим участием уже в 2006 г. Через год, в 2007 г., Е.А. Рогожин разработал ее заметно усовершенствованную версию, которая стала для нас базовой. Именно на основе указанной карты разломов мы путем использования самых современных подходов (SeismRisk3) создали первую карту детального сейсмического районирования (ДСР) Республики Северная Осетия – Алания и затем провели работы по созданию карты сейсмического микрорайонирования (СМР) территории г. Владикавказ и карт СМР территорий всех районных центров Северной Осетии, включая города Владикавказ, Беслан, Алагир, Моздок, Дигора, Ардон и с. Чикола.

По результатам совместных исследований впоследствии нами с Е.А. Рогожиным был опубликован целый ряд статей в высокорейтинговых зарубежных и отечественных журналах. Кстати, последняя наша публикация вышла в журнале «Геотектоника» в 2020 г.

Е.А. Рогожин был постоянным членом научных комитетов практически всех наших международных конференций, в том числе молодежных, посвященных различным аспектам опасных геологических процессов, включая сейсмические опасности. А конференций и школ-семинаров с 2002 г. у нас прошло порядка 20. И во всех наших начинаниях Е.А. Рогожин был всегда рядом.



Доклад Е.А. Рогожина на семинаре молодых ученых. Северная Осетия, молодежный лагерь «Барс». 2007 г.



В горах Северной Осетии, вблизи пос. Фиагдон. 2007 г.

Лекции профессора Е.А. Рогожина для маститых и, тем более для молодых ученых и специалистов всегда были интересны, конкретны, а выражения точны. Его русский язык был безупречен. Всегда доброжелательный и в меру либеральный он пользовался высоким доверием и уважением коллег.

Многие ученые на Кавказе (из Азербайджана, Армении и Грузии) относились к Е.А. Рогожину с большим уважением. Он был далек от менторского отношения к молодым ученым, уважал старших. Кстати, на Южном Кавказе в настоящее время работает немало его учеников и последователей. Много учеников и последователей у него было и в Центральной Азии, да и на всей территории бывш. СССР, а также за рубежом.

Однажды мы вместе выступали от России в г. Баку на международной конференции. Было много ученых из США, Франции, Алба-



Семинар молодых ученых. Северная Осетия, молодежный лагерь «Барс», 2007 г. Слева направо — Ж. Туаева, Е. Рогожин, В. Заалишвили

нии и других стран. Помнится, его выступление по проблеме адекватных оценок сейсмической опасности регионов было глубоким и в то же время вполне доступным.

Помню также, как в г. Ереван, кажется, в 1992 г., на конференции, посвященной Рачинскому землетрясению 1991 г., мы пересеклись с американским ученым Джеймсом Мак-Калпином, который активно изучал очаги сильных и сильнейших землетрясений. Именно от него в личной беседе я впервые узнал о методиках, позволяющих напрямую определять уровень сейсмических проявлений в регионе в прошлом (seismic hazard), сведенных им позже в книгу «Палеосейсмология». В России подобный подход в виде «тренчинга» (способ вскрытия сейсмонарушений прошлого путем проходки траншей поперек сейсмогенных структур) активно использовали в своих исследованиях Е.А. Рогожин и его ученики.

Прошли годы и наши отношения с профессором Е.А. Рогожиным трансформировались в нечто, характеризующееся дружбой. Не склонный к фамильярности, Евгений Александрович, или Женя, тем не

менее, нередко проявлял особенное человеческое тепло и поддержку. Наблюдая за ним на многих научных мероприятиях, я отмечал для себя его обязательность и аккуратность. Е.А. Рогожин был высоконравственным человеком и принципиальным ученым. В то же время он умел принимать жизнь и людей такими, какими они конкретно были. При этом был выдержанным и свое мнение без особой необходимости не высказывал, если этого не требовала ситуация.

Евгений Александрович был образцовым семьянином. С его супругой мы однажды встретились на одном из празднований его дня рождения. Это было, кажется, в 2011 г., когда день рождения отмечался в теплой обстановке вместе со всем коллективом Института физики Земли. Кстати, его сын и дочь летом принимали активное участие в экспедициях и помогали отцу в работе здесь, у нас в горах.

В этот скорбный час, эти редкие моменты откровения, когда мы ощущаем личность, удаляющуюся в прошлое, я от себя лично и от лица всего нашего коллектив выражаю самое глубокое соболезнование близким, друзьям и коллегам Евгения Александровича Рогожина. Желаем выстоять семье в этой беде и сохранить в памяти все хорошее, что дал супруге и детям Евгений Александрович.

Память о дорогом и глубокоуважаемом Евгении Александровиче Рогожине, коллеге, товарище и друге, останется в наших сердцах.

А.И. Лутиков

ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОЖИН

Впервые я познакомился с Евгением Александровичем, когда еще работал в ПННИИСе. Точную дату теперь уже не вспомнить, но произошло это, вероятно, в конце 1980-х годов. Познакомил нас мой коллега — Сергей Алексеевич Несмеянов, уже тогда ставший одним из крупнейших тектонистов нашей страны. Незадолго до этого он оппонировал докторскую диссертацию Рогожина. Тогда эта встреча так и осталась мимолетной. Наше настоящее знакомство, впоследствии переросшее, нет, все же не в дружбу, но в очень тесные отношения коллег по работе, произошло 7–8-ю годами позже, когда меня пригласили работать в Институт физики Земли во вновь созданный в качестве отдельной лаборатории Геофизической службы, входившей первоначально в состав ОИФЗ РАН, Центр по прогнозу землетрясений. Е.А. Рогожин был назначен ее заведующим, совмещая эту должность с работой в ИФЗ РАН. Впоследствии, в 2003 г., Геофизическая служба была выделена из состава ИФЗ РАН в самостоятельную организацию — Геофизическую службу РАН.

Так что приблизительно с середины 1996 г. началось наше многолетнее тесное сотрудничество: я в лаборатории занимал должность вед. науч. сотрудника. Научная и научно-организационная деятельность Евгения Александровича в то время была весьма многогранной и, разумеется, профессионально взаимодействовали мы только по сравнительно узкому спектру проблем, в основном в области оценки сейсмической опасности, сеймотектоники и отчасти геодинамики. Вскоре он был назначен одним из заместителей директора ИФЗ РАН по научной работе. В круг его обязанностей входила координация работ по прогнозу землетрясений. Он также курировал работы по оценке сейсмической опасности и создание соответствующих нормативных документов. Запросы на проведение таких работ на площадках строящихся и проектируемых народнохозяйственных

объектов регулярно поступали в администрацию Института. Помимо этого, было, пожалуй, самое важное: изучение древних землетрясений прошлого по оставленным ими нечетким геологическим следам, выражающимся преимущественно в нарушениях стратиграфии верхней части геологического разреза. Здесь Евгений Александрович был в нашей стране признанным лидером. Да и в мире его место в этой области было весьма заметным.

Ведя в течение многих лет курс сеймотектоники на кафедре динамической геологии Геологического факультета МГУ, Евгений Александрович постоянно присматривал там способных студентов и приводил их на работу в Институт. И это было в то тяжелое время, которое, что бы там ни говорили с высоких трибун, до сих пор еще не закончилось, хотя и стало чуть легче. Некоторые из этих студентов уже защитили кандидатские диссертации и стали завлабами. Так начинала формироваться научная школа, но процесс этот был насильственно прерван безвременным уходом Евгения Александровича.

Помимо того, что Е.А. Рогожин был крупным ученым, он был еще и прекрасным организатором и прирожденным лидером. Нельзя не упомянуть о теплой, почти родственной атмосфере, которая установилась в подразделениях, которыми он руководил. Такая атмосфера складывается в коллективе единомышленников, которым нечего между собой делить.

Первоначально наше сотрудничество ограничивалось только вопросами оценки сейсмической опасности отдельных объектов, где Евгений Александрович руководил геологическим блоком работ, включая создание схемы зон ВОЗ. На мою же долю приходилась сейсмологическая часть работ, состоявшая в изучении сейсмического режима и расчета сейсмической интенсивности в баллах макросейсмической шкалы.

Но как-то он увидел мой график глобального высвобождения скалярного сейсмического момента приблизительно за последние 100 лет, который я в свое время построил для своего доклада на ESC-2012, и у него возникла идея, чтобы мы написали об этом развернутую статью. Такую работу мы действительно сделали, и статья «Вариации интенсивности глобального сейсмического процесса в течение XX — начале XXI веков» была опубликована в журнале «Физика Земли» в 2014 г. После этого наши совместные работы стали регулярно появляться в профильных журналах вплоть до нынешней весны.

Последняя наша статья, посвященная очень сильному и совершенно нетипичному глубокофокусному землетрясению у островов Тонга в августе 2018 г., вышла весной 2021 г. в журнале «Физика Земли» уже после смерти Евгения Александровича.

Надо сказать, что научная деятельность Е.А. Рогожина была очень многогранна, так что опубликованные в последние годы наши с ним совместные статьи составили только малую часть того, что он за эти годы написал. У нас были обширные общие планы — так, мы намеревались написать большую статью о Великом Чилийском землетрясении в мае 1960 г., сильнейшем из случившихся в мире за все время инструментальных сейсмологических наблюдений. К сожалению, этим планам так и не суждено было осуществиться. Наверное, так и надо, уйти прямо с марша, полным еще не осуществленных новых планов. Но тем, кто остался, от этого не легче...

С.Ю. Милановский

О ЕВГЕНИИ АЛЕКСАНДРОВИЧЕ РОГОЖИНЕ

В конце ноября 1988 г. в Ялте проходило совещание «Модели строения тектоносферы различных регионов СССР». Участников разместили в отеле «Ялта-Интурист», где я оказался в одном номере с Евгением Александровичем Рогожиным. Ниже этажами отдельный номер занимал профессор Владимир Владимирович Белоусов. Подробностей нашего совместного проживания с Женей практически не осталось в памяти, возможно потому, что оно проходило очень органично и легко. Вечерами пили чай, беседовали... Практически сразу после знакомства мы перешли с ним на ты... В один из дней Женя, который был учеником и сотрудником В.В. Белоусова, сказал, что мы приглашены к нему в гости. Подозреваю, что изначально был приглашен он один, но составил мне протекцию и мы двинулись вместе. Этот визит остался в моей памяти как ощущение некоторой внутренней скованности и напряженности, вызванной масштабом личности Белоусова. В то же время для меня Владимир Владимирович был живым мостиком во времени к моему деду-геологу, с которым он когда-то работал в МГРИ. Мы пили чай, разговаривали на общие темы, в конце концов раскланялись и поднялись к себе в номер, где можно было расслабиться.

Оглядываясь назад, могу сказать, что со временем Евгений Рогожин, будучи успешным ученым, профессором и заместителем директора, обрел некоторую солидность и основательность в манере держаться, неторопливость в разговоре, что, на мой взгляд, придавало ему дополнительный вес в глазах собеседников, при этом сам стиль общения всегда оставался открытым, очень доброжелательным и демократичным. Человека можно понять и оценить по его взгляду и глазам – у Жени они были всегда добрые, улыбающиеся и излучающие человеческое тепло. Вспоминается хлебосольное

празднование его 70-летнего юбилея в ИФЗ, собравшее полный зал друзей и коллег.

На протяжении ряда лет ИФЗ РАН и Институт геофизики в Тбилиси предпринимали попытки организации совместных полевых работ ММЗ по пересечению Большого Кавказского хребта (планировалось продолжение российской части профиля на территорию Грузии группой Андрея Горбатикова, позже с предложением дополнить работы профилем МТЗ к проекту присоединился Иван Варенцов). К большому сожалению, по ряду причин, в том числе и финансовых, этот проект остается не реализованным до сих пор. Тем не менее, предпринимались определенные усилия по его подготовке. Была составлена программа работ, которая обсуждалась и была одобрена в Тбилиси Тамазом Челидзе и Георгием Меликадзе. Эти усилия находили доброжелательную поддержку двух замдиректоров ИФЗ – Александра Пономарева и Евгения Рогожина, каждый из которых изыскивал возможность для продвижения проекта на стадии подготовки. Обоих связывало сотрудничество с грузинскими коллегами, любовь к Грузии, а геолога Рогожина – многолетние полевые работы в горах Кавказа. Несомненно, эта помощь была основана и на их понимании важности проведения работ ММЗ и МТЗ на Кавказе. Например, Женя находил возможность выделить деньги из своего договора для командировочных расходов, а я по его просьбе «притягивал» несколько строк в отчет для обоснования этих расходов. Всякий раз, когда у меня возникала необходимость, – будь то срочная виза на заявление, письмо или просьба проконсультировать изыскателей-проектировщиков моста через Керченский пролив и дать заключение о сейсмичности Тамани – по любому вопросу я находил его поддержку. Вовлеченность в множество крупных проектов и огромный опыт позволяли Жене быстро находить конкретное решение возникающих задач.

Читая некролог о его скоропостижном уходе с перечнем научных заслуг и достижений, я вспоминал драматический момент выдвижения кандидатур в члены Ученого совета ИФЗ, когда администрация института, коллеги-геологи не считали необходимым (или забыли?) выдвинуть его кандидатуру в состав Совета... Такая забывчивость мне показалось по меньшей мере странной. Среди кандидатов, которые несомненно украсили бы Совет, я назвал тогда профессоров Евгения Александровича Рогожина, Шамиля Ахмедовича Мухамедиева и Игоря Александровича Гарагаша. Из троих

избрали только Женю... Меня поразила его мгновенная реакция (мы сидели совсем близко) – он спросил «не хочу ли я быть среди кандидатов». Он был готов это озвучить. Я его успокоил, что, конечно, нет. Боюсь, эта история не добавила ему здоровья...

Его уход – это огромная трагическая потеря для родных, друзей, коллег и учеников, а образовавшиеся бреши на многочисленных фронтах его научной, педагогической и экспертной деятельности невосполнимы. Нам будет не хватать Евгения Александровича Рогожина в этой жизни. Вечная память.

Н.А. Миронова ЖЕНЯ РОГОЖИН

С Женей Рогожиным мы учились с 1965 г. по 1971 г. на вечернем отделении геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова в группе геологов. В основном студенты были со школьной скамьи, но было и несколько человек постарше, с геологическим стажем, уже семейных. Женя был после школы, но он уже работал в геологии и удивлял тогда ребят обсуждением разных профессиональных тем. (Я, например, увлекалась в те годы театром на Таганке. И вообще, что касается женщин, декан нашего факультета Алексей Алексеевич Богданов говорил нам при приеме: «Девки-дуры, куда вы идете?».) Женя был очень равнодушен ко всему. Он чувствовал какую-то ответственность за группу, хотя старосты у нас не было. И иногда приструнивал нас, особенно на практике в Крыму.

Вскоре после окончания университета он появился у нас в ИФЗ в отделе геотектоники под руководством Владимира Владимировича Белоусова (я там работала уже со 2-го курса лаборанткой). Женя продолжал работать на Тянь-Шане. Мне довелось побывать у него в экспедиции по изучению зеленосланцевого метаморфизма (я работала в лаборатории В.В. Эза с докембрийскими метаморфическими породами). А Женя уже в молодости занимался тектоникой.

Запомнилось, как на одном семинаре Женю, увлекшегося модной тогда теорией шарьяжей, Владимир Владимирович осадил: «Идите и больше не грешите».

В поле в отряде все было легко и просто. Запомнилось, как Женя хорошо смеялся, при том, что был очень серьезным, вдумчивым, работающим.

Вообще геологи — прекрасные люди!

Л.И. Надёжка, М.А. Ефременко

ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ — ДРУГ, КОЛЛЕГА, УЧИТЕЛЬ

Познакомились мы с Евгением Александровичем в 1997 г. на заседании Ученого совета Геофизической службы РАН, где мы оба работали совместителями. Затем были встречи в Институте физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН и обсуждение вопросов сейсмоtectоники вообще и Воронежского кристаллического массива, в частности. И когда в 1997 г. был объявлен конкурс на выполнение проектов в рамках федеральной целевой программы «Интеграция науки и высшего образования России 1997–2001 гг.», то мы договорились с Евгением Александровичем подать заявку на проведение научных исследований совместно с Воронежским государственным университетом, Институтом физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН и Геофизической службой РАН. Проект «Глубинные неоднородности литосферы и сейсмичность центра Восточно-Европейской платформы (Воронежский кристаллический массив)» был поддержан, и, в течение 4 лет выполнялись совместные исследования, в которых принимали участие ведущие ученые, студенты и аспиранты ИФЗ РАН и ВГУ. Постоянное общение при разработке новых и интересных проблем, а также решение конкретных задач в рамках проекта сблизили точки зрения на многие вопросы, создало дружеские, теплые отношения. Евгений Александрович владел широким спектром знаний, умений, но всегда был доступен, с удовольствием делился своими знаниями с теми, кто делает только первые шаги в науке.

Марина Ефременко, выпускница Воронежского государственного университета, была аспиранткой Евгения Александровича. Он внимательно и доброжелательно руководил научной работой Марины, и в 2011 г. она успешно защитила диссертацию. В настоящее время она работает в лаборатории сейсмического мониторинга Воронежского кристаллического массива.



На одной из конференций в Воронежском Государственном университете



На Шукинской конференции.
На переднем плане Л.И. Надёжка. За ней — Н.И. Павленкова



После научных заседаний

Под руководством Евгения Александровича неоднократно проводились Щукинские конференции в Институте физике Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. На них заслушивалось немало интересных докладов и намечались основные направления дальнейших исследований. На многих конференциях, проходивших в Воронежском государственном университете, Евгений Александрович был сопредседателем конференций.

Особенно приятно было общаться с Евгением Александровичем на Щукинских конференциях. С ним можно было обсудить любые научные проблемы, поговорить по душам, просто пообщаться.

В конце 2020 г. мы решили совместно написать большую статью «Геодинамические обстановки и современная сейсмическая активность Воронежского кристаллического массива». Успели обсудить только основные вопросы, которые в статье нужно раскрыть. Будем заканчивать статью теперь уже без него, в память Евгения Александровича.

А.Л. Собисевич

ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОЖИН В МОЕЙ ЖИЗНИ И ПАМЯТИ

Встреча с Евгением Александровичем произошла в середине девяностых годов прошлого века, в самом начале моего трудового пути в ИФЗ РАН. Как это обычно и случается, в рабочем порядке отправили из лаборатории молодого сотрудника с документом на подпись к начальнику. Постучался, захожу в кабинет к Евгению Александровичу — а он весь в работе: на столе — гора документов, карты, книги, в одной руке — телефонная трубка, в другой — авторучка, напряженно что-то обсуждает по телефону, записывает и одновременно жестом приглашает присесть напротив. Понимая, что пришел не вовремя, немного тогда оробел, а Евгений Александрович это заметил, улыбнулся, трубку отложил и уже спокойно говорит: «Ну что там у тебя, старик? Давай подпишу», — вот так и познакомились.

Первые воспоминания о совместной работе в институте связаны, как ни странно, с решением насущных вопросов в ходе освоения новых по тем временам средств вычислительной техники. Надо признать, поначалу с этим были некоторые неудобства, особенно для старшего поколения — приходилось многому учиться фактически с нуля. Молодым же не составляло особого труда разобраться в тонкостях стремительно обновляющегося аппаратного и программного обеспечения. Помню, у Евгения Александровича была огромная коллекция слайдов из экспедиций и как только появилась техника, чтобы отсканировать их, он попросил помочь с этим разобраться, не стесняясь, спрашивал по нескольку раз одно и то же, внимательно выслушивал, просил показать «как и что тут делать» и далее уже самостоятельно осваивал новые возможности.

Девяностые годы прошлого века и начало века нынешнего стали одними из тяжелейших для отечественной науки. Мы работали в одной лаборатории с моим отцом, доктором технических наук профессором Леонидом Евгеньевичем Собисевичем, который в то время

был ученым секретарем программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Катастрофические процессы и их влияние на изменения природной среды и климата» под руководством вице-президента РАН академика Н.П. Лавёрова. Благодаря программе, на рубеже веков удалось не только сохранить коллективы исследователей из разных институтов, содействуя тем самым развитию междисциплинарных исследований, но и получить новые значимые результаты по многим направлениям в науках о Земле.

Одним из ответственных участков работы в программе был редакционно-издательский совет, формировавший план публикаций с результатами фундаментальных научных исследований в виде коллективных монографий. В ходе подготовки научных материалов для макетов будущих изданий мы много общались с Евгением Александровичем, который не только внимательно относился к вопросам технического характера, но комментируя их, увлеченно рассказывал о методах и природе объектов исследования.

Так, в 2001 году, вышла в свет книга «Геодинамика, сейсмо тектоника и вулканизм Северного Кавказа» с материалами теоретических и экспериментальных исследований по комплексной проблеме, связанной с активизацией сейсмических процессов на юге Европейской части России и прилегающих территориях. Далее, в 2004 году публикуется еще одна книга по Кавказу – «Природные процессы на территории Кабардино-Балкарии», а уже в следующем, 2005 году, в издательстве «Наука» выходит «Новейший и современный вулканизм на территории России», где обобщены материалы теоретических и экспериментальных исследований по комплексной проблеме, связанной с изучением вулканической опасности и развитием методов прогнозирования катастрофических извержений.

Где-то в 2007 году мы начали активно работать над созданием первой на Северном Кавказе геофизической обсерватории в непосредственной близости от вулкана Эльбрус, в глубокой подземной штольне.

Примерно в это же время в нашем институте произошли закономерные структурные преобразования, в ходе которых на базе трех лабораторий, включая и нашу, было сформировано Северокавказское отделение под руководством доктора геолого-минералогических наук профессора Евгения Александровича Рогожина. Постепенно появились и общие научные интересы: мы использовали в работе сейсмоакустические методы, строили теоретические модели

распространения упругих волн в слоистых геофизических средах с заглубленными неоднородностями различных форм и свойств. Полученные результаты естественным образом дополняли научные отчеты Отделения, что позволило, в том числе, выявить сходство в тектонической позиции очагов сильнейших землетрясений и уточнить породившие их структуры в свете дальнейшего развития наблюдаемых изменений в Кавказской складчатой области.

Шли годы, работы в рамках программы продолжались. Успешно совмещая научную и административную деятельность, Евгений Александрович руководил тогда проектом «Исследование режимов эндогенной и экзогенной активности литосферы и оценка комплексного риска сейсмических и вулканических явлений», в рамках которого в различных тектонических обстановках были изучены динамические процессы в литосфере с учетом взаимодействия крупных блоков земной коры, формирующих зоны активных разломов. Необходимо отметить, что практическая значимость результатов, получаемых в ходе сейсмотектонических исследований, продиктована необходимостью оценки сейсмической опасности и риска при проведении инженерных изысканий под строительство особо ответственных объектов. При этом развиваемый под руководством Е.А. Рогожина междисциплинарный подход позволял непосредственно получать комплексную основу для снижения риска возникновения природных катастроф в сейсмически активных регионах. Итоги наших совместных исследований нашли отражение в коллективной монографии «Эндогенные опасности Большого Кавказа».

В этой книге Евгению Александровичу удалось обобщить результаты продолжительных исследований опасных эндогенных процессов на территории Северного Кавказа, включая высокую сейсмическую опасность региона и позднекайнозойский вулканизм. При этом палеосейсмологические данные о древних, доисторических, сильнейших землетрясениях, имевших место в позднем плейстоцене и голоцене в пределах Большого Кавказа, представлены совместно с детальными картами сейсмического районирования нового поколения на вероятностной и детерминистской основе для всего горно-складчатого сооружения и прилегающих территорий.

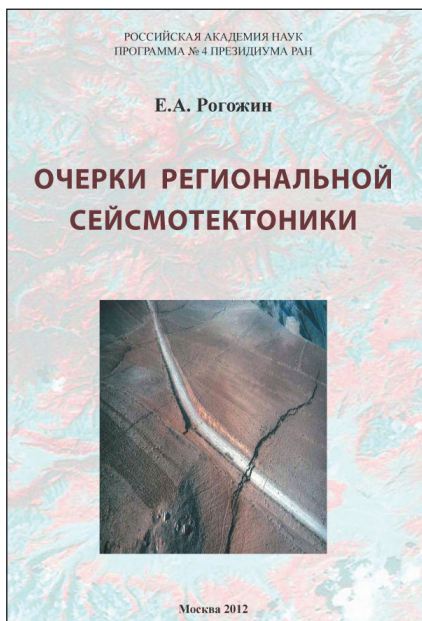
Внушительным и закономерным итогом многолетних исследований Евгения Александровича стала его монография «Очерки региональной сейсмотектоники», объединившая в рамках единого

подхода основные сведения о тектонической природе сейсмичности, что позволило охарактеризовать порождающие их геологические структуры, в том числе и в региональном масштабе. На примерах конкретных землетрясений и очаговых зон были продемонстрированы методы и приемы сейсмотектонических исследований, составляющих основу сейсмического районирования и определения уровня сейсмической опасности исследуемой территории.

Монография в полной мере раскрыла широту и прогрессивность научных воззрений автора, его высокий профессиональный уровень, а ясность и простота изложения позволили успешно использовать ее в качестве учебного пособия при подготовке аспирантов, которых у Евгения Александровича всегда было достаточно. Многие из них потом оставались работать в нашем институте.



Обложка коллективной монографии «Эндогенные опасности Большого Кавказа» и QR-код для загрузки её электронной версии



Обложка книги Е.А. Рогожина «Очерки региональной сейсмотектоники» и QR-код для загрузки её электронной версии



Были у него и иностранные студенты, в частности любопытные китайские товарищи. Вопреки расхожему стереотипу, русским языком они владели чуть менее чем посредственно, при этом постоянно работали в библиотеке и что-то там усердно конспектировали. Не вполне осознавая цели и задачи данной добродетели, тем не менее я не раз ставил их в пример своим ученикам — вот как надо работать с первоисточниками.

А еще Евгений Александрович научил меня взаимодействовать с журналистами и сделал он это традиционно — личным примером — несколько раз приглашал к себе в кабинет во время записи интервью для одного из центральных телеканалов. Надо сказать, что в первый раз немногие способны свободно говорить «на камеру», сознавая, что смотреть этот сюжет будут десятки тысяч, а то и миллионы зрителей. Наблюдая, как легко и непринужденно Евгений Александрович говорит с корреспондентами, остроумно реагируя на их вопросы об угрожающих всему человечеству природных катастрофах и не допуская при этом скатывания интервью в столь любимую журналистами «провокационно-апокалипсическую» тематику, в голове постепенно складывалось правильное представление о научно-популярном формате общения, что немало пригодилось в дальнейшем.

Лента новостей телеканала «Вести» с фрагментом интервью Е.А. Рогожина

ВЕСТИ
Прямой эфир

Активизация планеты: Земля уходит из-под ног



По Турции ударило третье по счету разрушительное землетрясение. Накануне в многострадальной провинции Ван зафиксированы толчки магнитудой 5,2 балла. Предыдущие землетрясения в этом регионе произошли 9 ноября и 23 октября. В общем списке погибших более 600 человек.

В это же время земля ходит под ногами у жителей Киргизии, Таджикистана, Италии, Индонезии и Гаити. Потряхивает в Крыму и на Байкале. Складывается впечатление, что глобальный катаклизм не такая уж и голливудская выдумка. Но так ли это на самом деле, ведущие "Утра России" выяснили у заместителя директора Института физики Земли имени Шмидта Евгения Рогожина.

По его словам, все перечисленные выше землетрясения заурядные. В неделю на Земле их происходит несколько десятков, и это нормальная жизнь планеты, пояснил эксперт.



Е.А. Рогожин на фоне геохронологической шкалы в актовом зале ИФЗ РАН во время торжественного заседания, посвящённого его шестидесятилетию (фото автора)

Юбилейные торжества по случаю шестидесятилетия Евгения Александровича проходили в нашем актовом зале, мероприятие получилось поистине масштабное, было очень много гостей, поздравлений и подарков. Помню, как Евгений Александрович искренне радовался общению с друзьями; он улыбается почти на всех фотографиях с того вечера.

На наших глазах Евгений Александрович построил «Мосрентген». Конечно же, речь идет не о поселке Мосрентген в Московской области (ныне это — Новая Москва), а об освоении выделенного институту в этом месте участка под строительство и возведение с нуля современного четырехэтажного здания с подземным гаражом, лифтом, автостоянкой и всеми коммуникациями, необходимыми для работы вновь создаваемого подразделения — Координационно-прогностического центра ИФЗ РАН.



Здание Координационно-прогностического центра ИФЗ РАН в пос. Мосрентген на территории Новой Москвы (фото автора)

Сама по себе история этого впечатляющего даже по нынешним временам проекта заслуживает отдельного повествования, отметим здесь лишь несколько моментов. Когда происходит процесс капитального строительства, вне зависимости от его источников, составляющих и прочих сопутствующих обстоятельств всегда есть один человек, несущий полную ответственность за возводимый объект. Думая о будущем нашего института, о необходимости его расширения и развития, Евгений Александрович такую ответственность на себя взял, если не сказать, взвалил, сознавая неизбежный перерасход жизненных сил, но, как и всегда, он довел начатое дело до конца.

В скором времени началось заселение нового здания, наши молодые сотрудники с интересом и с радостью осваивали просторные, светлые лаборатории, оборудовали себе рабочие места, устанавливали приборы на геофизических постах, заранее предусмотренных в подвальных помещениях.

С моим отцом — Леонидом Евгеньевичем — у Евгения Александровича получилась долгая и крепкая дружба, они много общались, всегда помогали друг другу и в науке, и по жизни.

Не секрет, что заметный прогресс в науках о Земле на современном этапе во многом обязан сближению и взаимному обогащению различных научных дисциплин на основе использования новых методов и технологий исследования пограничных областей. Проще говоря — на стыке дисциплин рождаются новые знания.

И вот мы становимся свидетелями творческой работы двух маститых профессоров, с одной стороны — настоящий полевой геолог, сейсмоструктурист и палеосейсмолог, с другой — геофизик и неиссякаемый генератор новых научных идей, многие из которых опередили время, мастер натурного эксперимента, обладающий исключительным «чутьем» естествоиспытателя.

Казалось, они понимали друг друга с полуслова, и на совещаниях с их участием по большому счету самым верным делом было сидеть и слушать старших. Что мы обычно и делали, наблюдая, как на наших глазах формируются новые, смелые и оригинальные научные идеи, неизменно составляющие основу будущих статей и книг.

Так появились работы, в которых по результатам изучения тектонической раздробленности земной коры Центрального Кавказа с применением методики специализированного дешифрирования космофотоснимков были оконтурены глубинный очаг и приповерхностная магматическая камера под вулканом Эльбрус. В рамках дру-



Евгений Александрович Рогожин (слева) и Леонид Евгеньевич Собисевич на совещании в новом здании Координационно-прогностического центра ИФЗ РАН в пос. Мосрентген, Новая Москва (фото автора)

гого научного направления вышла серия оригинальных статей по очагам сильных землетрясений с одновременным анализом волновых форм магнитных возмущений, гипотетически обусловленных физико-механическими процессами подготовки крупного сейсмического события. Ведь если очаги сильных и сильнейших землетрясений представляют собой устойчивые структуры в геологической среде и их положение обусловлено особым сочетанием геолого-геофизических условий, то и волновые формы магнитных возмущений, наблюдаемых в ходе подготовки катастрофических событий, вполне могут быть морфологически подобными.

Евгений Александрович оставил нам сотни статей, конспекты лекций и книги. Все его труды — надежный источник фактических данных, необходимых для дальнейшего, более глубокого познания сил эндогенной природы, меняющих лик Земли.

Сейчас это кажется странным, но за все время совместной работы на Кавказе нам так и не довелось пересечься с Евгением Александровичем в экспедициях. У него был очень плотный график поездок и обширная география. Только на моей памяти — десятки оперативных выездов «по горячим следам» в поля на обследование эпицентральных зон сильнейших землетрясений в наиболее сейсмоопасных регионах Северного полушария. Надо признать, мы попросту не всегда поспевали за темпом исследований, задаваемым Е.А. Рогожиным.

Как-то раз встретились мы на очередном заседании Ученого совета Геофизической службы РАН в Обнинске. На обратном пути Евгений Александрович любезно предложил нас подвезти, поскольку был за рулем. Водил он азартно, мы всю дорогу шутили, бодро и весело доехали тогда до Москвы. Наверное, это был один из немногих эпизодов неформального общения. Сколько ни пытаюсь — не могу припомнить другой столь же продолжительной непринужденной беседы. Обычно мы всегда говорили о работе: Евгений Александрович либо расспрашивал о наших натурных экспериментах и новых геофизических данных, либо же сам рассказывал о результатах исследований и планах на будущее, а планов этих было у него на несколько жизней.

Евгений Александрович Рогожин навсегда останется в моей памяти глубоко и разносторонне образованным, незаурядным человеком, крупнейшим отечественным специалистом в области сейсмотектоники и палеосейсмологии, деятельным руководителем и организатором науки, неутомимым и принципиальным ученым, тем, кто азартом познания, настойчивостью и трудолюбием вдохновлял к научному творчеству многих своих учеников и благодарных последователей.



Евгений Александрович Рогожин (фото автора)

А.В. Николаев, В.Г. Трифонов

**РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ Е.А. РОГОЖИНА
«ОЧЕРКИ РЕГИОНАЛЬНОЙ
СЕЙСМОТЕКТониКИ»¹**

Зародившись в начале XX в., отечественная сейсмология понималась ее основателями И.В. Мушкетовым и А.П. Орловым, как наука геологическая. Помимо сведений о землетрясениях и их разрушительных последствиях, она включала рассмотрение тектонических условий возникновения землетрясений и их геологических проявлений. Именно тогда было впервые сформулировано представление о связи землетрясений с подвижками по разломам земной коры и возможности наблюдать проявления этой связи на земной поверхности.

В дальнейшем успехи инструментальной сейсмологии обусловили крен науки о землетрясениях в сторону все более полной и точной регистрации сейсмических событий и их объяснения физико-математическими моделями природной среды. Это увлечение «числом и расчетами» коснулось и других направлений тектоники и геодинамики. Необоснованная доверчивость геологов к физическим, механическим и физико-химическим моделям геологической среды и ее поведения, основанным на, казалось бы, бесспорных постулатах, теоретических расчетах и лабораторных экспериментах, приводила к отказу от ряда плодотворных идей. Так было на первых порах с гипотезой А. Вегенера о латеральном движении материков, а позднее — с идеями о геодинамической роли ротационных факторов, литосферных и подлитосферных течений, глубинных флюидов, энергонасыщенности геологической среды и др. При создании таких моделей принижалась или игнорировалась ценность самих геологических фактов и основанных на них обобщений.

В сейсмологии указанная тенденция обозначилась, может быть, особенно ярко. Она проявилась в первых картах оценки сейсмической опасности (сейсмического районирования) территории СССР, построенных на основе, прежде всего, ретроспективного анализа

¹ Геотектоника. 2013. № 4. С. 83—84.

зарегистрированных землетрясений. Результаты такого одностороннего подхода не замедлили сказаться. Большинство сильных землетрясений последующих двух десятилетий произошли там, где сейсмическая опасность считалась более низкой. Обнаружившийся недостаток подхода к оценке природы, приуроченности и параметров землетрясений был в значительной мере преодолен в новом комплекте карт сейсмической опасности территории СССР ОСР-97.

При составлении этих карт для выделения возможных зон возникновения очагов землетрясений использовались как, собственно, сейсмологические данные, так и сведения об активной тектонике и ее сейсмических проявлениях (работы В.И. Уломова, Л.С. Шумиловой, Н.В. Шебалина, В.Г. Трифонова и А.И. Кожурина).

Сейчас очевидно, что понимание природы землетрясений и оценка сейсмической опасности возможны только на основе комплексного изучения сейсмологических и геологических аспектов проблемы, в частности, сейсмотектонического обследования эпикентральных областей сильных современных землетрясений и геологических следов палеоземлетрясений (землетрясений последних тысячелетий, о которых из-за их древности нет инструментальных или исторических свидетельств). За рубежом выпущена серия обобщающих публикаций по этой проблеме (*Perspectives in paleoseismicity*, 1995; *Yeats R.S., Sieh K., Allen C.R. «The geology of earthquakes»*, 1997; *Палеосейсмология* / Под ред. Дж.П. Мак-Калпина, 2011). В СССР и России опубликованы многочисленные подобные сейсмотектонические работы по отдельным сильным землетрясениям и районам высокой сейсмической активности (Н.А. Флоренсов, В.П. Солоненко, В.С. Хромовских, В.С. Имаев и другие представители «иркутской» школы; А.А. Никонов, В.Г. Трифонов, Е.А. Рогожин, А.И. Кожурин и другие сотрудники ИФЗ РАН и ГИН РАН в Москве; А.С. Караханян, М.И. Стрельцов и другие исследователи в некоторых регионах бывшего СССР). Однако до сих пор не было публикации, обобщающей накопленный региональный опыт. Поэтому отрадно появление монографии Е.А. Рогожина «Очерки региональной сейсмотектоники» (М.: ИФЗ РАН, 2012. 340 с.).

Книга Е.А. Рогожина посвящена геолого-геофизическому описанию ряда сильных землетрясений, произошедших в различных геодинамических обстановках на территории России, других стран СНГ (Армения, Грузия, Казахстан, Кыргызстан, Туркменистан, Узбекистан) и некоторых стран дальнего зарубежья (Алжир, Иран,

Монголия, Китай). Все эти территории и сейсмические события объединяет то важное обстоятельство, что приводимые описания сделаны в основном на основе исследований, проведенных лично автором книги или при его участии, поэтому для отдельных регионов нередко даются описания не самых характерных событий. Представляется, например, что для Монголии таковыми были бы не Могодское землетрясение 1967 г., а Болнайское землетрясение 1905 г. в зоне Хангайского разлома или Гоби-Алтайское землетрясение 1957 г. в зоне Долиноозерского разлома. Но такая «избирательность» обеспечила более однородное рассмотрение и осмысление материала.

Книга построена по региональному принципу. В ней последовательно рассматриваются Альпийский пояс (Атлас, Закавказье, Южная Туркмения, Загрос), Централно-Азиатский эпипалеозойский ороген («Большой» Алтай, Центральная Монголия, район Газлийских землетрясений 1980 и 1984 гг. и Тянь-Шань), Корякия, Курило-Камчатская и Японская островные дуги и Сахалин, Восточно-Европейская платформа (Калининградские землетрясения 2004 г. и Никольское землетрясение 2000 г. на Воронежском кристаллическом массиве). В каждой описываемой эпицентральной области землетрясений рассматриваются геологическое строение, проявления землетрясения на земной поверхности (сейсмогенные разрывы и другие сеймотектонические и вторичные деформации, а также сопутствующие явления — оползни, обвалы и т.п.), сейсмические характеристики основного толчка и афтершоков. Приводятся сведения о палеоземлетрясениях в тех же зонах по данным выполненного тренчинга и радиоуглеродного определения возраста событий. Они доказывают устойчивую, хотя и далеко не всегда регулярную повторяемость сильных землетрясений в некоторых очагах, что может служить прогностическим признаком. Представлены геодинамические и сеймотектонические модели рассмотренных регионов, данные о долговременном сейсмическом режиме и в отдельных случаях характеристика глубинного строения по данным локальной сейсмической томографии.

Особый вопрос, затрагиваемый в книге, — обоснование новой шкалы интенсивности землетрясений ЕЕЕ (Earthquake environmental effects), разработанной трудами А. Микетти, Р.Э. Татевосяна, Е.А. Рогожина и др. В отличие от традиционных шкал (MSK-64, Меркалли-модифицированной и др.), основанных на человеческих ощущениях, повреждении и разрушении инженерных сооружений, шкала

ЕЕЕ опирается на геологические последствия землетрясений — сейсмогенные разрывы, трещины, деформации грунта, оползни, обвалы, гидрогеологические эффекты. Шкала ЕЕЕ была бы очень полезна для России, где обширные пространства лишены инженерных сооружений, что ограничивает возможности применения шкалы MSK-64. Е.А. Рогожин приводит в книге критерии использования шкалы ЕЕЕ. Однако применение шкалы сталкивается с рядом сложностей. Помимо того, что эта шкала не регистрирует или плохо дифференцирует слабые сотрясения, не преодолены некоторые неопределенности в оценке балльности при сильных воздействиях. На примере Венчуанского землетрясения 2008 г. в Сычуане (Юго-Восточный Китай) Е.А. Рогожин демонстрирует сейсмогенный правый взбросо-сдвиг с вертикальной компонентой смещений до 5 м и горизонтальной — до 4—3 м, что указывает на интенсивность сотрясений не менее X баллов ЕЕЕ, и вместе с тем сравнительно слабые повреждения домов (не более VII—VIII баллов MSK) в десятках метров от линии разрыва. По-видимому, соотношения между инженерными и геологическими эффектами землетрясений неоднозначны. Они зависят как от механических свойств геологической среды, так и от типа инженерных сооружений. Шкала ЕЕЕ нуждается в доработке, но очевидно, что в будущем для оценки интенсивности следует использовать и инженерные, и геологические эффекты землетрясений.

Итак, книга Е.А. Рогожина содержит полезный материал для понимания природы землетрясений и их роли в геологических процессах и оценки сейсмической опасности нашей страны и других регионов. Она интересна для специалистов в разных областях наук о Земле.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алешин Александр Степанович – доктор физико-математических наук, ИФЗ РАН

Васютинская Софья Дмитриевна – Институт геоэкологии РАН

Димитров Орлин Василев – Институт океанологии «Fridtjof Nansen» Болгарской академии наук, доктор философии в герфизике, ст. науч. сотрудник, г. Варна, Болгария

Ефременко Марина Алексеевна – кандидат геолого-минералогических наук, Воронежский государственный университет

Заалишвили Владислав Борисович – доктор физико-математических наук, профессор, Геофизический институт Владикавказского научно-го центра РАН

Иогансон Лидия Ивановна – кандидат геолого-минералогических наук, ИФЗ РАН

Корженков Андрей Михайлович – доктор геолого-минералогических наук, ИФЗ РАН

Лутиков Александр Иванович – кандидат физико-математических наук, ИФЗ РАН

Милановский Святослав Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, ИФЗ РАН

Миронова Надежда Александровна – ИФЗ РАН

Надёжка Людмила Ивановна – кандидат геолого-минералогических наук, Воронежский государственный университет

Николаев Алексей Всеволодович (1934–2019) – член-корреспондент РАН, ИФЗ РАН

Овсяченко Александр Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, ИФЗ РАН

Собисевич Алексей Леонидович – член-корреспондент РАН, ИФЗ РАН

Тихоцкий Сергей Андреевич – член-корреспондент РАН, директор ИФЗ РАН

Трифонов Владимир Георгиевич – доктор геолого-минералогических наук, Геологический институт РАН

Яковлев Федор Леонидович – доктор геолого-минералогических наук, ИФЗ РАН

ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОЖИН
(1947 — 2021)

научное издание

Издано по решению
РИСО ИФЗ РАН
от 19.10.2022 г.

Подписано в печать 21 октября 2022 г.
Формат 64×84/16. Объем 12,5 усл. печ. л.
Тираж 76 шт.
Отпечатано в ИАЦ ИФЗ РАН
123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1
Тел./факс: (499) 254 90 88



Книга посвящена памяти выдающегося ученого, доктора геолого-минералогических наук, профессора Евгения Александровича Рогожина (1947–2021), научный путь которого неразрывно связан с Институтом физики Земли. С различной степенью детальности рассматривается плодотворная и многогранная научная, организаторская и педагогическая деятельность Е.А. Рогожина и его вклад в развитие и становление отдельных направлений современной сейсмо-тектоники, геодинамики и оценки сейсмической опасности. Страницы воспоминаний о научных достижениях Евгения Александровича проникнуты светлой благодарной памятью коллег о его лучших человеческих качествах, проявлявшихся в совместной работе.