

РАЧИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ ИЛИ КАК МЫ НАШЛИ МАНТИЙНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ НА КАВКАЗЕ

Ф.Л. Яковлев

Полевые исследования Рачинского землетрясения (29 апреля 1991 г., $M_w = 6.9$) для меня начались экстренными сборами моего личного снаряжения в Москве в короткий период между двух майских праздников. Я тогда работал в лаборатории тектонофизики, в эпицентральной экспедиции от нее нас участвовало двое: Олег Иванович Гуценко и я. Олег Иванович уже имел большой опыт работы в эпицентральных районах – в частности, он принимал участие в обследовании Рудбарского землетрясения в Иране (1990, $M_s=7.4$, 40 тыс. погибших) в составе экспедиции ИФЗ АН СССР, которую тогда возглавлял Юрий Павлович Сквородкин. Участие в обследовании Рачинского землетрясения было для меня первым подобным опытом. При полевом изучении Спитакского землетрясения в 1988 году возникло очень эффективное международное взаимодействие; в обследовании Рачинского землетрясения с самого начала было решено повторить этот удачный опыт. Руководителем данной экспедиции в Грузию был также назначен Ю.П. Сквородкин. Сразу после Первомайских праздников была сформирована одна из первых групп геологов и геофизиков со своими автомобилями, которую 9 мая спецрейсом с аэродрома в Чкаловском на транспортном самолете ИЛ-76 отправили в г. Кутаиси. На собственном транспорте и на предоставленных Грузинской республикой машинах экспедиция прибыла в тот же день в район города **Они**, где в кольцевом здании водолечебницы на берегу р. Джоджора была устроена база нашей международной экспедиции. Кроме сотрудников ИФЗ АН СССР и ряда других организаций, этим же самолетом на место работ вылетели несколько первых иностранных ученых; потом группы зарубежных сейсмологов прибывали самостоятельно в течение нескольких дней. Помню, что утром 9 мая на аэродроме «Чкаловский» перед вылетом нашей группы один из иностранцев, глядя на длинный ряд лайнеров Ту-154 с маркировкой не Аэрофлота, ехидно отметил, что «это очень демократично, что каждый генерал в СССР имеет свой самолет».

Целью экспедиции было выполнение нескольких задач, достаточно обычных для таких исследований. Основная – это организация эпицентральных наблюдений за сейсмическим процессом, регистрация и анализ всех повторных толчков. Конфигурация гипоцентров таких событий должна была показать возможную геометрию очага основного толчка землетрясения. Этим занималась группа С.С. Арефьева, очень быстро прибывшая в эпицентральный район еще 2 мая. Вторая задача, которую решала группа Ю.П. Сквородкина, прибывшая упомянутым спецрейсом, состояла в наблюдении за

современными движениями поверхности земли геодезическими методами. Геологические работы должны были обеспечить прежде всего поиск выхода плоскости очага на поверхность, если это имело место. Другая задача состояла в описании изменений рельефа – в сборе информации о возникших сейсмодислокациях. Кроме того, геологи помогали геофизикам в выборе места при установке сейсмических приемников, а также светодальномеров и отражателей. Одна из основных проблем описания Рачинского землетрясения, которая в тот момент уже была понятна, заключалась в выборе одной из двух возможных нодальных плоскостей главного толчка, которые появились в результате оперативного решения геофизиками механизма очага землетрясения по записям мировой сети сейсмостанций – надвиговой, полого падающей на север (в одном из вариантов – 15 градусов), или взбросовой, круто падающей на юг. Версия пологой плоскости при очень небольшой глубине точки вспарывания (от 5 до 17 км, на границе чехла и кристаллического фундамента), особенно в свете популярной геодинамической модели пододвигания Закавказского массива под Большой Кавказ, представлялась большей части наших коллег наиболее предпочтительной. Предположительный пологий наклон плоскости на север объяснял также, почему на поверхности земли в первые дни не было обнаружено выхода очага на поверхность. Если бы это была субвертикальная плоскость, то она, вероятнее всего, при такой глубине вышла бы на земную поверхность.

Томаса Петровича я хорошо запомнил примерно со второй недели наших работ, когда появилась возможность совершить несколько обзорных рекогносцировочных маршрутов. Их основной целью был поиск дислокаций рельефа и возможного выхода очага на земную поверхность. Если я не ошибаюсь, то первым знаменательным эпизодом была попытка многодневной вылазки с рекогносцировочной целью на хребет Хихата. От геологической части экспедиции для решения этой задачи нас объединилось трое – Олег Гущенко, Томас Белоусов и я. Целями были общие наблюдения и поиск сейсмодислокаций в центральной части региона. Нас со снаряжением, а также группу зоологов на место работ доставил экспедиционный Газ-66. У зоологов была задача отслеживать поведение насекомых (и, возможно, других животных) перед крупными афтершоками. Однако оказалось, что в середине мая на высоте 1900 метров, там, где мы высадились, на небольшом перевале от г. Амбролаури в сторону широкой долины с селом Шкмери в ее центре, пока еще было довольно холодно. Зоологи, грустно похаживая вокруг места предполагаемого лагеря, обнаружили только группу вяло двигающихся крупных гусениц, которые для сохранения тепла, вероятно, образовали небольшое скопление под легкой паутиной. Твердо заявив, что «объекты неполовозрелые», и что им здесь делать нечего, они полезли назад в кузов грузовика и отбыли на базу. Договоренность

заклучалась в том, что через три дня работ машина вернется на эту же точку для того, чтобы забрать нас. Мы нашли достаточно плоское место в лесочке рядом с ручьем, недалеко от дороги и поставили небольшую палатку под тентом (рис. 1). Утром нас ждала неприятность – ночью выпал снег, глубиной примерно по щиколотку, который целый день продолжал идти. Поскольку зимней обуви у нас не было, да и увидеть небольшие нарушения поверхности под снегом не было возможности, то два дня непогоды мы просидели у костра под поставленным дополнительным тентом, выходя из лагеря только за водой или за дровами. Запомнилась любопытная картина подтаявшего снега на склонах хребта выше нас. Снежный покров в горах во время основного толчка еще сохранял заметную толщину – примерно полметра. Сотрясения и вибрация его нарушили – сформировалась мозаика блоков, разделенных «грабенами». Свежий белый снег ближе к середине дня сохранился внутри этих «грабенов», окруженных желтоватым старым снегом в ненарушенных «блоках» (рис. 2). К третьему дню потеплело, снег в основном растаял, и мы смогли сделать длинный маршрут примерно до села Шкмери вдоль дороги и основных долинок ручьев. К некоторому удивлению, в нескольких обнажениях в долинах ручьев нам попадались не осадочные карбонатные породы, а субвулканические породы основного состава, на которые мы тогда особого внимания не обратили. По обзорным геологическим картам в районе Шкмери было известно, что здесь существует небольшой ареал основного вулканизма возраста позднего турона-коньяка. Внутри



Рис. 1. «Снежный» лагерь в районе перевала в долину Шкмери, середина мая 1991 г. Мы принимаем гостей, прибывших на машине забирать нас в основной лагерь. Сидят справа налево: Т.П. Белоусов, О.И. Гущенко, водитель, Б.М. Богачкин. Фото Ф.Л. Яковлева.



Рис. 2. Возникновение блоковой структуры в снежном покрове в результате воздействия основного толчка Рачинского землетрясения. Восточная часть хребта Хихата, середина мая 1991 г. Фото Ф.Л. Яковлева.

долины во время этого маршрута нам ничего интересного из последствий землетрясения не встретилось, хотя это тоже было существенным результатом: никаких выходов очага на поверхность здесь не было обнаружено.

Запомнился другой длинный маршрут по хребту Хихата выполненный позже большой группой, в составе которой, кроме Т.П. Белоусова и нас с Олегом, были директор ИФЗ АН СССР Страхов Владимир Николаевич, геофизик Борисов Борис Аронович (рис. 3) и Рогожин Евгений Александрович. К началу маршрута мы ехали довольно долго на машине от г. **Они** со стороны г. Амбролаури до того же перевала, под которым у нас был «снежный» лагерь. Такой длинный путь в начале и середине мая приходилось выбирать, потому что в одном месте на прямой дороге от г. **Они** к с. Шкмери дорога была разрушена и пока еще не восстановлена. Снег в это время в основном уже сошел, свежей травы еще не было, поэтому все дислокации на пологом, покрытом прошлогодней травой хребте были хорошо видны (рис. 4). Вдоль гребня основного хребта Хихата на протяжении около 5 км в нескольких местах нами были обнаружены зияющие трещины в дерне и следы сейсмывбросов камней (рис. 5). Томас Петрович деятельно все это замерял и зарисовывал. Потом мы спустились к югу на плато с многочисленными карстовыми воронками и прошли вдоль его обрыва (рис. 6). Там тоже встречались эффектные выбросы камней, что говорило об интенсивности сотрясений ближе к 9 баллам, чем к ожидаемым 8.



Рис. 3. Провал кровли карстовой пустоты, возникший в результате Рачинского землетрясения. Обращает на себя внимание отсутствие понижения рельефа (карстовой воронки) вокруг провала. Западная часть хребта Хихата, конец мая 1991 г. Рядом с провалом стоят В.Н. Страхов (справа) и Б.А. Борисов. Фото Ф.Л. Яковлева.

Но самым ярким событием этого маршрута была находка крупного грабена на краю известнякового плато (рис. 7, 8), длиной около 500 метров и шириной 30 – 50 метров. Глубина провала поверхности в нем составила 4-5 метров, но амплитуда свежего погружения составила около 1.5 метра, это хорошо фиксировалось по свежим плоскостям смещения в двух краевых сбросах, местами даже с бороздами скольжения в глинах (рис. 9). Это явно означало, что такие крупные сейсмические события, с магнитудой около 7,



Рис. 4. Сейсмодислокации свода хребта Хихата, конец мая 1991г. Маршрутная группа пересекает зону линейных рвов (древних микрограбенов), «напоминающих заброшенные автомобильные колеи», описанные Т.П. Белоусовым в его монографии 2009 г. (на стр. 112 и на рис. 4.6.) Микрограбены позже были вскрыты траншеей на глубину 2 м., они ограничены с бортов кластическими жилами (глубина больше 2 м), относительное понижение кровли структуры составило 40 см. Дислокации указывают на палеоземлетрясение, интенсивность которого заметно превышает интенсивность Рачинского землетрясения 1991 г., что является очень важным выводом. Фото Ф.Л. Яковлева.



Рис. 5. Т.П. Белоусов рядом с крупной глыбой (показана черной стрелкой), выброшенной со своего места при Рачинском землетрясении. Водораздельная часть хребта Хитата, конец мая 1991 г. Фото Ф.Л. Яковлева.



Рис. 6. Сейсмодислокации южного края плато Хихата, середина мая 1991 г. Север слева. Поверхность плато слева сверху нарушена карстовыми воронками. Видны свежие обвалы известнякового обрыва (темные стрелки), сейсмогенный ров между блоком палеограбена (справа), испытавшего опускание и смещение вправо от массивных известняков плато. Ручка молотка, оставленного для масштаба, указана светлой стрелкой. Ров находится в крайней восточной части палеограбена, в его северном борту. Фото Ф.Л. Яковлева.

здесь уже происходили. Хорошо помню, что Б.А. Борисов очень активно с кем-то спорил на тему происхождения грабена – связан он или нет с каким-либо крупным разломом в этом же месте. Комплекс сейсмодислокаций хребта Хихата, одноименного плато и этого грабена стал важным объектом исследований в летний период.

В одном из следующих рекогносцировочных маршрутов нас троих, уже на север от г. *Они*, Томас Петрович несколько раз производил замеры трещиноватости в осадочных



Рис. 7. Участники маршрута осматривают свежие сейсмодислокации в южном борту крупного палеограбена плато Хихата. Север справа. Конец мая 1991 г. Фото Ф.Л. Яковлева.



Рис. 8. Крупный сейсмогенный палеограбен на краю плато Хихата. Два человека вблизи находятся на северном ограничении палеограбена. Стрелками показано положение других двух участников маршрута на южном краю палеограбена. Фото Ф.Л. Яковлева.

породах. Здесь, в долине реки Риони были хорошие выходы среднеюрских флишевых толщ, смятых в складки. Было заметно, что Томасу Петровичу иногда затруднительно было правильно интерпретировать сложную структуру – по образованию он был все-таки географом, и структурную геологию не проходил. В этой части региона обвалов и оползней,

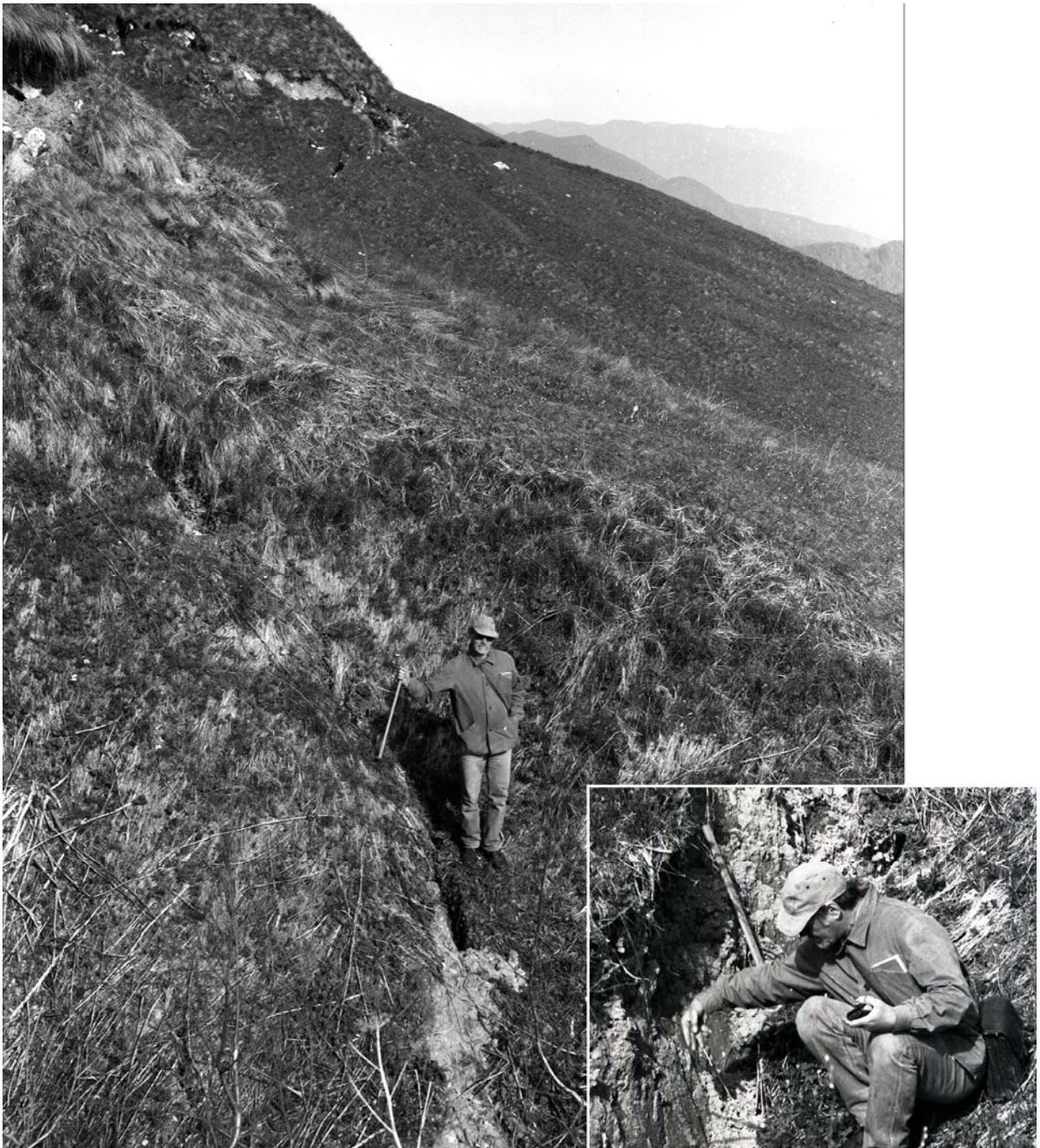


Рис. 9. Т.П. Белоусов изучает плоскость смещения сброса на северном борту крупного сейсмогенного палеограбена на краю плато Хихата. Конец мая 1991 г. Фото Ф.Л.Яковлева.

связанных с сейсмическими движениями, нами не было обнаружено. Был выполнен интересный маршрут в верховья реки Квирила, к востоку от г. Сачхере, в южном блоке всей структуры и очень близко к эпицентру главного толчка. Томас Петрович, Б.М. Богачкин и В.П. Чичагов обследовали там крупный обвал пород (каменную лавину), частично разрушивший селение Тбети и перекрывший долину реки (рис. 10). Было хорошо заметно по многим признакам, что основное смещение грунта во всем этом блоке при ударе было направлено с юга на север. В этом месте была, например, сломана высокая двуногая деревянная опора высоковольтной сети, причем сломана по направлению,



Рис. 10. Разрушения в долине р. Квирила, возникшие при Рачинском землетрясении, начало июня 1991 г. Направление съемки на восток, в верховья долины. В ближней зоне снимка – тело каменной лавины, далее видно небольшое озеро, опоры линии ЛЭП и хозяйственные постройки селения Тбети. Фото Ф.Л. Яковлева.

соединяющем эти две ноги (рис. 11). Все это фотографировалось и описывалось. Такие же наблюдения Томас Петрович регулярно делал и во всем северном блоке, включая окрестности Хихаты, там большая часть следов смещений имела только широтное направление. Широтные колебания земной поверхности здесь также хорошо ощущались во время многочисленных мелких повторных толчков. Заметим, что широтные перемещения блоков северного фланга всей структуры не должны были быть характерны при предполагаемом пологом надвиге с севера на юг по основной плоскости очага. Все наблюдения такого рода Томас Петрович аккуратно регистрировал, они потом вошли небольшой главой в его монографию о Рачинском землетрясении.

Ближе к концу мая или в начале июня мы еще раз ходили по маршруту через хребет Хихата в сторону грабена. Трава здесь к этому времени уже выросла достаточно большая, снег давно растаял. Томас Петрович пытался найти те трещины в дерне, которые были видны раньше, но безуспешно.

В результате предварительных работ в весенний период стало понятно, как распространены по площади района основные сейсмодислокации, были намечены основные объекты для детальных исследований. Я на некоторое время вернулся в Москву, собрал недостающие материалы в геологических фондах и подготовился к структурным



Рис. 11. Осмотр разрушенной двуногой опоры ЛЭП в долине р. Квирила в районе села Тбети, начало июня 1991 г. Направление съемки на восток, вверх по долине. Стоят справа налево: Т.П. Белоусов, Б.М. Богачкин и В.П. Чичагов. Светлыми стрелками отмечено тело каменной лавины, перекрывшей долину реки. Фото Ф.Л. Яковлева.

исследованиям – по поручению Ю.П. Сквородкина я должен был составить основное структурное пересечение от г. Сачхере на юге до верховьев р. Риони на севере. Это могло помочь в тектоническом районировании всего региона.

В середине июля на довольно большой период времени нашей довольно уже многочисленной группой с участием Б.М. Богачкина, В.П. Чичагова, но без О.И. Гуценко, был организован лагерь прямо в долине Шкмери к северу от Хихаты в верховьях небольшой речки, и мы приступили к детальным наблюдениям. В первом же маршруте вдоль гребня хребта Хихата Томас Петрович с удивлением обнаружил, что трещины в дерне, которые были найдены в начале мая и отсутствовали в конце мая, опять были хорошо видны. Их ширина была небольшой, до 10-20 сантиметров, при длине около 4 – 5 метров, их простирание было немного диагональным по отношению к простиранию всего хребта. Из этого Томас Петрович сделал предварительный вывод, что эти трещины могут быть связаны с плоскостью близкого очага и способны открываться или закрываться в зависимости от напряженного состояния блоков. Действительно, незадолго до этого, в середине июня произошел крупный афтершок в районе пос. Джавы ($M_s=6.2$), и напряженное состояние всех блоков вполне могло меняться. Но мне представлялось это очень сомнительным. Данный вопрос был принципиальным, проверить его было сложно.

Для фиксации всех возможных дальнейших изменений конфигурации микрограбенов было предложено поставить несколько примитивных реперов. В края нескольких трещин были вбиты по два небольших деревянных колышка с плоским срезом наверху, на котором шариковой ручкой были нарисованы перекрестия. Все расстояния между перекрестиями в колышках были измерены рулеткой с точностью до миллиметра, что в принципе позволяло фиксировать изменения формы блоков и трещины. Быстро было поставлено около пяти таких точек наблюдения вокруг трещин на гребне хребта. Такие же реперы были установлены в тот же день вокруг нескольких трещин, окружающих уже упомянутый крупный грабен на краю плато. Все четверо участников исследований (Томас Петрович, Б.М. Богачкин, В.П. Чичагов и автор этой заметки) в процессе работ на протяжении чуть больше месяца провели несколько замеров расстояний в этих точках, что позволило потом Томасу Петровичу вместе с Ш.А. Мухамедиевым сделать некоторые наблюдения над изменениями деформированного состояния зоны очага землетрясения. Геоморфологическая группа экспедиции – Т.П. Белоусов, Б.М. Богачкин и В.П. Чичагов очень детально изучили все пространство вокруг хребта Хихата, в том числе – с помощью выкопанных контрольных траншей, пересекающих микрограбены и трещины на гребне хребта и рядом с грабеном на краю плато. Было установлено многократное импульсное развитие микрограбенов, по которым формировались трещины. Работами было установлено несколько стадий развития рельефа и были выявлены также некоторые особенности карста. Как оказалось, на развитие карстового процесса повлияло несколько древних крупных землетрясений.

Одним из ярких событий этого периода полевого сезона была находка мантийных включений. В один из немногих дней отдыха в этом полевом лагере Томас Петрович решил прогуляться вверх по нашей речке с горным компасом в руках с целью сделать замеры его любимой трещиноватости в тех немногих выходах коренных пород, которые встречались в небольших обрывах. Вернувшись в лагерь к обеду, он поделился впечатлениями; в том числе сообщил, что ему встретилась порода с очень крупными прозрачными зернами кварца по несколько миллиметров диаметром. Это тут же заинтересовало Бориса Михайловича, который попросил показать где это находится. Вероятно, как геологу и геоморфологу ему стало интересно, откуда здесь могли появиться крупные зерна кварца – гранитных интрузий любого возраста в качестве источника сноса такого материала рядом не было. Оказалось, что идти к обнажению надо совсем недалеко, метров 300 по дороге. Небольшой обрыв с коричневатой породой в верхней его части находился на другой стороне речки выше сплошных зарослей невысоких кустов. Борис Михайлович, чертыхаясь, полез через кусты и через воду к этому обнажению и,

добравшись, крикнул, что здесь есть выходы каких-то магматических пород, а не осадочных. Тогда уже и мы с Томасом Петровичем полезли по кустам к этому месту. И когда, помогая себе руками, я подобрался снизу по крутому склону к обрыву и поднял голову, то увидел замечательную картину. Среди бурых базальтов наблюдалось большое количество округлых включений желтовато-зеленых дунитов, имеющих размеры около 5-10 см. Это был небольшой некк – подводящий канал древнего вулкана, заполненный базальтовой лавой. Дунит в этих включениях как раз и состоял в основном из крупных прозрачных зерен оливина. Поскольку я несколько последних лет довольно часто заходил в гости по разным делам в лабораторию Юрия Семеновича Геншафта, которая находилась в подвале в районе метро Павелецкая, то такие сочетания дунитов и базальтов мне были хорошо знакомы по хранившимся в подвале образцам мантийных включений из Монголии и других регионов. Конечно, я тут же радостно заявил, что это мы видим мантийные включения, что они могли быть вынесены вместе с базальтами только прямо с большой глубины, без промежуточных магматических очагов, по субвертикальному каналу, а это означает, что здесь есть очень крупный вертикальный разлом со сдвиговой составляющей. Несмотря на то, что возраст этих пород был поздний турон – коньяк, это означало, что такая разломная структура здесь уже существует и современная ситуация перемещений блоков вполне могла повторить древнюю структуру. То есть, вариант очага землетрясения с плоскостью по типу субвертикального взброса становился весьма вероятным, по крайней мере – конкретно в этом месте. Забегая вперед, замечу, что в некоторых вариантах современных расчетов развития сложного очага основного толчка Рачинского землетрясения именно в этом месте предполагается субочаг с правым сдвигом.

Все собранные образцы включений дунитов и других мантийных пород были переданы, конечно же, Ю.С. Геншафту, тщательно им исследованы, и по этим материалам довольно быстро были написаны две важных статьи за авторством всех участников событий. Действительно, в этом небольшом ареале мелового вулканизма с глубины около 40 км были подняты мантийные включения. Оказалось, что нами был найден единственный на Кавказе выход мантийных включений. Так упорство Томаса Петровича в добывании им материала по трещиноватости в горных породах в сочетании со знаниями двух других геологов позволили сделать небольшое открытие.

А само Рачинское землетрясение до сих пор продолжает исследоваться, сейчас считается, что оно имело сложный очаг. Процесс развития землетрясения с подключением к движениям все новых субочагов неоднократно моделировался многими учеными и окончательная точка в этих исследованиях пока не поставлена. Важное место в комплексе

всех этих исследований принадлежит обобщающей монографии Томаса Петровича, посвященной Рачинскому землетрясению.

После полевых работ 1991 года я время от времени заходил к Томасу Петровичу и делился с ним появляющейся новой информацией по структуре Большого Кавказа и по механизмам формирования его складчатости, особенно когда это касалось региона Рачинского землетрясения. Когда много позже, в силу ряда обстоятельств я стал искать, в какой еще лаборатории мне можно было бы продолжить исследования складчатости Кавказа, то чуть ли не первым заведующим лабораторией, к кому я обратился, был Томас Петрович. В очень короткой беседе он сразу с большой теплотой вспомнил наше «сидение под снегом» на перевале под хребтом Хихата. Моя просьба о переводе в лабораторию с его стороны была положительно решена быстрее, чем за пять минут, за что я ему очень благодарен. А поскольку в планах лаборатории был раздел «геодинамические исследования», связанные с использованием как раз замеров трещиноватости, из которых делались выводы об ориентировках осей тектонического палео-напряжения в разное время для изучаемых блоков Кавказа и Средней Азии, то я со своими исследованиями складчатой структуры Кавказа смог без особых изменений направленности своих работ подключиться к тематике лаборатории.

Изучение неотектонических движений геоморфологическими методами в большом комплексе геолого-геофизических работ по оценке сейсмической опасности занимает очень важное место по нескольким причинам. Прежде всего, эти исследования позволяют оценить общую тектоническую активность региона и слагающих его блоков на отрезках времени в первые миллионы лет вне зависимости от существующего уровня современной сейсмической активности. Во-вторых, выявление палеосейсмических дислокаций при полевых исследованиях резко расширяет статистику сейсмических событий и может указать на зоны потенциальных катастрофических землетрясений, которые могут никак не проявлять себя сотни и тысячи лет. Видное место в этой важной области занимает научное наследие Томаса Петровича Белоусова – его исследования, выполненные в разное время в Средней Азии, на Кавказе и при работах по оценке сейсмической опасности в местах строительства особо ответственных сооружений, в том числе – ряда АЭС в СССР и за рубежом. Т.П. Белоусова отличала горячая увлеченность исследованиями грозного явления природы – сейсмичности, профессионализм и последовательность на пути к поставленной цели. Работа в поле для Томаса Петровича всегда являлась не только обязанностью по сбору исходного научного материала, но и источником ярких эмоций, наслаждения природой.