

## МИХАИЛ ВЛАДИМИРОВИЧ ГЗОВСКИЙ И СОЗДАНИЕ ТЕКТОНОФИЗИКИ (К 80-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

© 2001 г. А. В. Михайлова, А. А. Никонов, Д. Н. Осокина, Ю. Л. Ребецкий, Ф. Л. Яковлев

*Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва*

Поступила в редакцию 28.12.99 г.

### 1. ВЕХИ НАУЧНОГО ТВОРЧЕСТВА И СТАНОВЛЕНИЯ ТЕКТОНОФИЗИКИ

#### *1. Личность ученого*

17 декабря 1999 года исполнилось бы 80 лет со дня рождения профессора Михаила Владимировича Гзовского, выдающегося геолога и геофизика, одного из создателей нового направления в науках о Земле, активного организатора и признанного лидера тектонофизических исследований в нашей стране, бывшего заведующего лабораторией тектонофизики Института физики Земли АН.

М.В. Гзовский был ученым необычного многомерного плана. Сумев преодолеть противоречия в восприятии природы геологом и физиком-математиком, он проявлял способности как интуитивного так и детерминистского мышления, способности одновременно геолога-тектониста, геофизика и механика. Он сочетал в себе качества отличного полевого исследователя, серьезного экспериментатора, теоретика, способного к широким обобщениям, и ученого-практика, который всегда стремился к практическому воплощению полученных им результатов. Большой научный талант исследователя совмещался в нем с поистине исключительными работоспособностью и энергией, благодаря которым, выстроив логику исследований, он проводил их с блеском, а осмыслив результаты, пропагандировал наработанное с ясностью философа, точностью математика и доказательностью экспериментатора.

Он жил наукой и для науки. Поражало, как много он успевал сделать одновременно, с какой огромной отдачей работал даже тогда, когда бывал болен. Это был человек редкой душевной красоты и благородства, образец настоящего Ученого и Человека. Сила воли и характера, принципиальность, бескомпромиссная требовательность к себе и другим гармонично сочетались в нем с простотой, мягкостью, неисчерпаемым запасом человечности. Он был готов в любую минуту прийти на помощь товарищу, охотно делился своими

знаниями и опытом с любым, кто к нему обращался. Одновременно это был яркий и жизнерадостный человек, любящий юмор и добрую шутку. В его присутствии люди становились добрее, умнее и лучше. Его любили те, кто знал его по настоящему.

#### *2. Годы учения и работы в МГРИ, геологические исследования*

Вопроса “куда поступать?” у юноши не было – он с детства полюбил геологию и в 1938 г. поступил в Московский геолого-разведочный институт (МГРИ), учился легко, с увлечением. По отзывам преподавателей (В.В. Меннера и других) он был одним из самых талантливых студентов своего поколения. В 1941 г., еще студентом, он участвует в научно-исследовательских работах МГРИ и составляет геологическую карту северо-восточного Приэльбрусья. В 1943 г. по окончании МГРИ становится военным геологом в составе военно-геологического отряда “Спецгео” на Центральном фронте. Тяжело заболевает, попадает в госпиталь. После госпиталя поступает в аспирантуру МГРИ под руководством В.В. Белоусова. Аспирант М.В. Гзовский ведет региональные исследования на Малом Кавказе, обосновывает новые представления о структуре и развитии Сомхето-Карабахской зоны Малого Кавказа. Работа отражена примерно в десяти насыщенных полевых отчетах, которые не могли быть опубликованы из-за закрытого характера работы. Весной 1947 г. на этом материале М.В. Гзовский блестяще защитил кандидатскую диссертацию “Связь складчатости и колебательных движений на примере Малого Кавказа”.

В 1947 г. М.В. Гзовский вместе с В.В. Белоусовым и А.В. Горячевым работает в Восточных Альпах и в Венгрии. Им было создано первое обобщение и новая концепция геологического развития территории Венгрии, для чего пришлось перевести с венгерского языка массу материалов. Основной публикацией по этой теме стала статья 1950 г.

“О геологии Венгрии” в Большой советской энциклопедии.

С 1949 г. М.В. Гзовский начал работать в экспедиции НИС’а МГРИ в Каратау (Байджансайский антиклинорий, Казахстан) в качестве одного из главных ее участников.

В это же время началась педагогическая деятельность М.В. Гзовского. С 1944 по 1950 г. он преподавал в МГРИ общую геологию, структурную геологию и геотектонику. Его лекции и занятия всегда пользовались большим успехом и не только у студентов. Когда много позже он читал в МГУ геологам и физикам лекции по геотектонике и впервые в Союзе – по тектонофизике, то на эти лекции собиравались (буквально сбегались), не только студенты, но и преподаватели. Михаил Владимировича ценили и любили в МГРИ.

Михаил Владимирович Муратов, один из учителей М.В. Гзовского, писал: “В эти годы [имелся в виду период 1947–1950 гг.] М.В. Гзовский уже проявил себя как оригинальный и талантливый геолог, сочетающий огромную эрудицию, глубокое знание геологии Союза и зарубежных стран, с отличным пространственным воображением, с масштабностью мышления и главное с даром редкой геологической интуиции...”

### *3. Работа в ИФЗ, разработка основ тектонофизики как науки*

В 1950 г. М.В. Гзовский приходит в Геофизический институт АН СССР, где приступает к разработке основных вопросов тектонофизики. Необходимость создания такой дисциплины к тому времени уже остро назрела как в связи с задачами геотектоники и геодинамики, так и в связи с потребностями горного дела, инженерной геологии, работ по сейсмозонированию.

Нельзя сказать, что работа М.В. Гзовского в тектонофизике начиналась с нуля: уже с середины прошлого века с целью выяснения причин возникновения тектонических структур проводились эксперименты по их воспроизведению такими геологами, как Фавр, Добрэ, Виллис, Клоос, Ридель и другие. В конце прошлого века американским ученым Беккером была сделана попытка связать ориентировку тектонических разрывов в пространстве с эллипсоидом деформаций.

В середине сороковых годов В.В. Белоусовым была организована первая в Союзе лаборатория экспериментальной тектоники, превратившаяся потом в отдел геодинамики, и возникла проблема создания тектонофизики как научной дисциплины на основе синтеза геологических и физических представлений и методов. И когда молодой Гзовский пришел в возглавляющийся В.В. Белоусовым отдел геодинамики Геофизического ин-

ститута Академии наук, эта проблема встала и перед ним.

Придя в Геофизический институт, М.В. Гзовский сталкивается с необходимостью изучения физики процессов структурообразования, разработки физических основ и новых методов тектонофизических исследований – с необходимостью создания нового научного направления. О том, как шло решение этой задачи, очень хорошо написал В.В. Белоусов:

«... Для того чтобы оценить тот подвиг, который М.В. Гзовский совершил за свою короткую жизнь, надо вспомнить, в каком виде были представления о механике тектонических деформаций в конце сороковых годов, когда работы М.В. Гзовского в этой области начинались. Это была весьма странная смесь некоторых взятых из физики и механики элементарных сведений, далеко не всегда правильно понятых, и суждений, часто невежественных, с точки зрения той же физики. М.В. Гзовский взялся за титаническую задачу расчистить эту область и, освободив ее от заблуждений и неграмотностей, сделать из нее настоящую науку. Он погрузился в изучение соответствующих разделов физики и математики, установил контакты с ведущими специалистами в вопросах деформации и разрушения твердых тел, и сумел уже через несколько лет стать общепризнанным экспертом в этих вопросах. Применяя добытые знания к объяснению условий развития тектонических деформаций, он в последующие годы заложил научные основы новой отрасли – тектонофизики. Здесь мы имеем редкий пример того, как целая научная дисциплина может быть создана одним человеком. Специфика условий, в которых развиваются тектонические процессы, требовала надлежащей переработки имевшихся уже знаний и их существенного расширения. Поскольку эти особенности тектонических условий не поддаются точному расчету, своеобразным “компьютером” должен был служить эксперимент. М.В. Гзовский берется и за эту задачу и в короткое время разрабатывает теорию тектонического моделирования, основанную на известном в физике принципе подобия, но опять же обогащенную элементами, делающими этот принцип применимым к тектонике. Много усилий было потрачено на создание такого эквивалентного материала, который по своим свойствам был бы наиболее близок к горным породам. Двадцать пять лет своей жизни М.В. Гзовский посвятил своему детищу – тектонофизике. Его работоспособность была удивительной. Он работал всегда... Поэтому, несмотря на краткость своей жизни, М.В. Гзовский успел сделать так много. Сейчас, через двадцать пять лет после того, как М.В. Гзовский начал свои тектонофизические исследования, закономерности, которым следуют тектонические деформации, нам ка-

жется, что они были известны всегда. Но на самом деле эта простота явилась результатом колоссальной работы человека, перед исследовательским талантом и энергией которого мы должны преклоняться».

Уровень рассмотрения некоторых вопросов геологии на фоне достижений физики и математики казался порой примитивным, особенно в области реконструкции механизмов формирования тектонических структур.

Работы М.В. Гзовского с самого начала были ориентированы на решение практических задач и, в первую очередь, на реконструкцию механизмов формирования конкретных тектонических структур. Поэтому во всех его разработках, с одной стороны, за исходные всегда принимались природные геологические данные, с другой стороны, в выводах о сущности рассматриваемого тектонического процесса или явления он стремился к доказательности, что требовало опоры на физические закономерности и на количественные исследования. Эта научная позиция определила в конечном счете содержание, структуру и выбор методологии его разработок в области тектонофизики. Этим, как нам кажется, они отличались от тех построений, которые создавались за рубежом, этим привлекали к нему многочисленных отечественных и зарубежных исследователей (Германия, Болгария, Чехословакия, Китай, Япония и др.).

## II. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕКТОНОФИЗИКИ М.В. ГЗОВСКИМ

### *1. Содержание дисциплины*

Все результаты исследований и размышлений М.В. Гзовского нашли отражение в его книгах: “Вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория”, 1963; “Математика в геотектонике”, 1971 и “Основы тектонофизики”, 1975.

М.В. Гзовский главной своей задачей считал создание физической теории тектонических процессов, первоочередной – изучение механизмов формирования тектонических структур и развитие так называемых физических основ тектонофизики, что определило круг основных проблем этой науки и направление ее развития, а также методологию новой дисциплины.

Представление М.В. Гзовского о содержании теории тектонических процессов с позиций тектонофизики проявилось при создании трех типов классификаций тектонических объектов: морфологической, физико-генетической и геолого-генетической. Фигурально выражаясь, в этих трех типах классификаций отразилось три типа отношений к изучению тектонических объектов: дотектонофизический, тектонофизический и переходный. Морфологическая классификация отражала совер-

шенно необходимый геологический подход к изучению объекта – он описывается таким, каким он представляется из наблюдения. Для того чтобы характеризовать его в соответствии с физико-генетической квалификацией, необходимо произвести дополнительные тектонофизические исследования, выяснить кинематическую и динамическую обстановку его возникновения, т.е. по сути определить механизм его формирования. И наконец, геолого-генетическая классификация требует выяснения “причины его образования”. И здесь исследователь переходит снова на язык геологии, говоря о связи тектонического объекта с другими элементами земной коры, о возрасте формирования объекта и т.д. Но, как выясняется, под всем этим подразумеваются опять же тектонофизические характеристики, а именно: каким образом соотносится физическая обстановка возникновения объекта (локальное поле тектонических напряжений) с полем других объектов, большего масштаба, связанного с региональной или коровой структурой. Учитывая трудность и сложность этой новой задачи, автор ограничился требованием чисто геологических характеристик, оставляя простор для будущих исследований. Таким образом, рассматривая классификации, предложенные М.В. Гзовским для складок, разрывов и механизмов формирования тектонических структур вместе с комментариями к ним мы уже находим всю программу тектонофизических исследований тектонических структур: изучение физической обстановки возникновения и развития структур разных типов и масштабов и их взаимной зависимости, а при возможности – и общих причин их возникновения. Все эти характеристики должны быть добыты из специальных исследований, полевых, экспериментальных, теоретических, и подкреплены фактическим материалом, как это убедительно показано на примере Байджансайского антиклинория и подтверждено в дальнейшем его книгой “Математика в геотектонике”.

### *2. Общие черты тектонофизики по М.В. Гзовскому, содержание основных направлений*

Исследователю пришлось начинать с анализа истории и состояния тектонофизических работ, с критического разбора ряда неверных представлений (типа гипотезы Беккера), с разработки круга проблем и содержания нового направления. В 1954 г. в журнале “Известия АН СССР, серия геофизическая” выходят в свет три программные статьи М.В. Гзовского: “О задачах и содержании тектонофизики”, “Тектонические поля напряжений”, “Моделирование тектонических полей напряжений и разрывов”. Эти работы положили начало современному этапу развития тектонофизи-

ки. По М.В. Гзовскому главными направлениями тектонофизических исследований должны быть:

- а) развитие физических основ тектонофизики;
- б) изучение механизма формирования складок;
- в) изучение механизма формирования тектонических разрывов;
- г) изучение механизма образования крупных сложно построенных структурных элементов земной коры.

Из всего выше сказанного очевидно, что механизм формирования тектонических структур, как это и было определено М.В. Гзовским, является центральным и первоочередным объектом исследования в тектонофизике, его исследование связано с изучением целого ряда других явлений, поскольку, по определению автора, механизм деформирования тектонических структур характеризуется: а) системой внешних деформирующих сил, приложенных к рассматриваемому геологическому массиву с определенной исходной для данного механизма тектонической структурой; б) исходным полем напряжений; и в) определенными физико-механическими свойствами, реологией. Система сил, приложенная в указанных условиях, вызывает такие кинематические и деформационные процессы, которые приводят к изменению не только собственно тектонических структур, но и их свойств, в том числе и в первую очередь их полей напряжений, а также кинематических характеристик и т.д. Исходя из этих представлений, определяется структура самого предмета, состоящая из нескольких блоков исследований.

**1. Поля напряжений.** Прежде всего закладываются основы учения о тектонических полях напряжений и деформаций, о явлении, которое никогда ранее в геологии не изучалось. Вводится само понятие, рассматриваются пути их изучения, включающие: а) реконструкцию природных полей напряжений разного возраста и масштаба (в том числе по данным о трещиноватости), б) определение влияния различных структур на поле напряжений более высокого ранга (в том числе по данным моделирования), в) вопрос об иерархии полей напряжений, о разделении полей напряжений по возрастам. Впервые проводится описание полей напряжений с построением их траекторий для ряда природных тектонических структур, в том числе структур Байджансайского антиклинория, по данным моделирования описываются “идеальные” поля напряжений некоторых типов складок, а также поля напряжений в деформируемом слое для некоторых простейших механизмов деформирования.

**2. Кинематика.** Вторым важнейшим объектом исследований для выявления механизма деформирования являются кинематические характеристики. Им посвящается ряд работ с соавторами, в

которых рассматриваются вопросы изучения полей перемещений и их характеристик, а также их изменений в процессе развития различных тектонических областей. Решается важнейшая задача приведения разнородных природных данных о скоростях перемещений к одному масштабу осреднения, выясняется влияние масштаба осреднения на конечный результат.

**3. Механические свойства горных пород.** Ставится труднейшая задача исследования механических свойств горных пород в массивах, в особенности реологических; намечается интересный путь привлечения геофизических данных, с использованием их корреляции с механическими свойствами.

**4. Механизмы формирования тектонических структур.** Наконец, рассматриваются примеры изучения самих механизмов формирования тектонических структур как идеальных, теоретическим и экспериментальным путем, так и природных – методами реконструкции с использованием моделирования. Создается “новое направление изучения складок”, которое представляет собой не что иное, как один из способов исследования механизма их формирования, состоящего из комплексного изучения кинематики, деформаций, напряжений и разрывов, возникающих в складке при ее развитии. Выделяются складки трех механизмов: поперечного изгиба, продольного изгиба и продольно-расплющивания.

В рамках учения о механизмах формирования разрывных структур обобщаются и существенно развиваются представления о физических условиях возникновения простых разрывов путем синтеза теорий прочности, развиваемых различными авторами. На отдельных примерах рассматривается связь между отдельными структурами при их совместном образовании, изучаются сложно построенные структуры, в том числе рассматривается механизм длительного формирования крупных разрывов путем объединения мелких разрывов, первоначально изолированных друг от друга. На примере Байджансайского антиклинория проводится первое исследование механизма формирования крупной региональной структуры.

**5. Физические основы тектонофизики.** Проведение тектонофизических исследований потребовало не только привлечения разработок разного характера из физики (главным образом из механики) и математики, но и осуществления собственных исследований по ряду вопросов из этих областей науки или адаптации уже имевшихся результатов к условиям геологических явлений. Здесь следует сказать об изучении реологических свойств горных пород и разработке методик их изучения за длительные промежутки времени, как в образцах, так и в массивах, о выборе реологических моделей для теоретических исследований, о создании методов математического моделирования

ния, о привлечении метода эквивалентного моделирования и адаптации его к моделированию геологических структур и процессов их деформирования, о создании методов количественного изучения результатов моделирования. Особое внимание в этот период было уделено трем темам.

а. Принципиальным возможностям оценки реологических свойств горных пород в массиве. Впервые получены оценки вязкостных свойств толщ горных пород различного литологического состава.

б. Разработке теории подобия для моделирования тектонических процессов на основе анализа описывающих их уравнений механики деформируемых сред. Получены теоретические (расчетные) требования к физико-механическим и реологическим свойствам эквивалентных материалов для тектонического моделирования применительно к различным временным и геометрическим масштабам.

в. Применению оптического метода для моделирования тектонических полей напряжений. Впервые внедряется в тектонику поляризационно-оптический метод исследования напряжений и развивается методика изучения напряжений в упругих моделях и в моделях из неупругих (вязких и вязко-пластичных) материалов.

Итоги этого этапа жизни и творческой деятельности Михаила Владимировича были подведены изданием его двухтомного труда “Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория” (1963), в котором помимо сказанного выше раскрывались перспективы использования тектонофизики при решении задач региональной тектоники, разведочной геологии, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых, при изучении глубинных геологических и геофизических процессов. Этот труд был результатом его 14-летней работы в Каратау, на основе которой в 1962 г. защищена докторская диссертация. Этим подводились итоги первого этапа создания основ тектонофизики.

### III. СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРИИ, РЕШЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВОПРОСОВ ТЕКТОНОФИЗИКИ

Следующим стал этап широкого развертывания и углубления тектонофизических исследований, в том числе работ по специальным вопросам тектонофизики. М.В. Гзовскому удалось создать способный выполнять комплексные исследования научный коллектив из экспериментаторов (инженеров и физиков), механиков и геологов. Экспериментальная группа моделировала тектонические процессы и изучала свойства горных пород и эквивалентных материалов, механико-математическая группа занималась теоретическими решениями задач тектонофизики, геологическая груп-

па обеспечивала накопление полевых натуральных наблюдений над структурой и движениями земной коры, собирала сеймотектонические данные для оценки сейсмической опасности. М.В. Гзовскому в 1964 г. исполнилось 45 лет, он был в самом расцвете творческих сил. Последующие семь лет были употреблены на выработку стратегической линии развития тектонофизики и на проведение исследований по трем направлениям: углублению работ по созданию физических основ тектонофизики, созданию физической теории тектонических процессов и разработке специализированных вопросов тектонофизики т.е. установлению тектонофизических закономерностей, важных для решения практических задач разведочной геологии, оценки сейсмической опасности и других. В статье 1970 г. “Развитие новых направлений в тектонофизике” задачи формулировались так: “Тектонофизика должна дать физическое описание и объяснение тектонических процессов. Для этого необходимо научиться выражать тектонические данные в виде физических величин и разработать методы получения объективных количественных оценок физических величин: деформаций, напряжений, энергии, которые соответствуют различным проявлениям тектонических процессов – движениям, складкам, трещинам, крупным разрывам, а также землетрясениям. Тектонофизика призвана установить закономерности количественных соотношений между различными физическими характеристиками, а также геологическими проявлениями тектонических процессов разного масштаба на поверхности и на глубине”.

Этот новый и последний период научных исследований отличался тем, что все направления развивались комплексно, они были связаны взаимными требованиями и ожиданиями.

#### *1. Изучение механизмов деформирования на моделях, создание методики количественного анализа, исследование свойств эквивалентных материалов*

В этот период исследования механизмов с помощью моделирования посвящены разработке новой методики количественного анализа результатов: вместо прежних общих схем, отражающих характер напряженного (деформированного) состояния и кинематики реконструируемых структур на основании общих соображений теперь была применена новая методика маркировки моделей и расчета всех необходимых величин, позволяющая достаточно надежно характеризовать величины деформаций, их приращения в процессе формирования структуры, распределение вязкостных свойств, расход энергии на формирование структуры на разных стадиях ее формирова-

ния и др. Переход к количественным исследованиям на моделях потребовал более тщательного подбора эквивалентных материалов. В связи с этим были детально изучены реологические свойства паст бентонитовой глины, на которых велось моделирование, определены вязкость паст и ее зависимость от влажности глины, от величины напряжения сдвига, это позволило характеризовать свойства моделей, представляя их в виде полей деформаций, распределения вязкости в массиве, скоростей перемещений и т.д., а в дальнейшем совместно с теоретиками создать комплексную методику исследований. Одновременно было проведено теоретическое решение задачи о продольном сжатии слоя в такой же постановке, как эксперимент, но для линейно-вязкой среды. На основе данных моделирования и полевых исследований в 1971 г. опубликована первая классификация основных типов механизмов деформирования земной коры, основы которой были заложены еще в предыдущий период.

Теоретической группой начат комплекс работ по созданию математической теории тектонических процессов. По инициативе М.В. Гзовского А.С. Григорьевым и В. П. Ионкиным выполнен анализ и критический обзор работ, посвященных решению задач тектонофизики методами механики деформируемого твердого тела. Обзор показал состояние математической теории тектонических процессов (на конец 60-х годов) и позволил наметить направления ее дальнейшего развития, заключавшегося в усложнении физических и геометрических моделей среды с целью приближения их к условиям в земной коре (литосфере), и был связан с решением конкретных задач тектонофизики, в первую очередь с решением задач о напряженном состоянии и деформациях участков литосферы при различных механизмах деформирования. Были получены решения задач об образовании надвига; об изгибе осадочного чехла при опускании или поднятии блока фундамента; о напряженном состоянии и деформациях литосферы, отвечающих гипотезе о воздействии на ее подшву конвекционных потоков.

## 2. Изучение тектонических полей напряжений

Изучение тектонических полей напряжений по-прежнему оставалось в центре внимания.

а. Построение карт напряжений и расхода энергии: сделано обобщение всех известных к тому времени натуральных данных об ориентации осей главных напряжений, проведена оценка величин относительных касательных напряжений  $T_{max}$  в земной коре по сейсмическим данным (по плотности распространения землетрясений в пространстве) и оценка величин абсолютных значений максимальных касательных напряжений по данным о тектонических движениях за последние

30 млн. лет и сейсмичности за 50 лет для территории Советского Союза, а также оценен расход энергии на тектоническое деформирование. По этим данным построены соответствующие карты, указаны границы зон с различными значениями этих величин в сопоставлении с зонами различной тектонической активности.

б. Совершенствование метода реконструкции тектонических напряжений: продолжены работы по реконструкции полей напряжений в разных регионах по старой методике, но одновременно делаются усилия по ее совершенствованию и формализации (О.И. Гуценко).

в. Моделирование тектонических полей напряжений:

совместно с Д. Н. Осокиной продолжают эксперименты на поляризационно-оптических материалах, совершенствуется материальная база и методика исследований напряжений в моделях с разрывами и закладываются основы двух новых направлений этих работ. 1) Изучаются физические закономерности строения поля напряжений возле единичных или сложно построенных разрывов наиболее типичной формы, при этом выполнен большой объем исследований, позволивший описать поля напряжений  $T_{max}$  для разрывов различной формы и при различной ориентации относительно осей внешнего поля. 2) Изучаются поля напряжений в моделях, имитирующих разрывную структуру конкретных сейсмоопасных регионов. Здесь были выполнены первые эксперименты такого рода с сопоставлением модельных полей напряжений и сейсмичности конкретного региона.

## 3. Реология массивов горных пород, управление горным давлением

Наряду с изучением реологических свойств эквивалентных материалов М.В. Гзовским с сотрудниками выполнен цикл работ по оценке реологических свойств массивов и участков земной коры. Сделаны первые шаги в разработке метода косвенной оценки вязкости горных массивов на основе корреляционных связей между характеристиками затухания упругих колебаний и вязкостными свойствами твердых тел и горных пород. Результаты позволили составить прогнозную схему изменения максимальной и минимальной вязкости основных слоев земной коры с глубиной. Эти работы, равно как и работы по реконструкции тектонических напряжений, вызывали живой интерес у горняков в связи с решением задач управления горным давлением. Возникли контакты как с организациями (Кольский филиал АН СССР), так и с отдельными специалистами в этой области (Турчанинов, Марков, Казикаев и др.). В мае 1971 г. состоялось Всесоюзное совещание по тектоническим напряжениям в земной коре, задачей которого

была выработка обоснованной и единой методики определения напряжений в горных выработках методом разгрузки. Обсуждались как вопросы методики измерений, так и первые результаты использования данных о тектонических напряжениях при решении задач управления горным давлением. М.В. Гзовский был организатором и одним из основных докладчиков совещания.

#### *4. Натурное изучение тектонических движений, структур и глубинных процессов*

Изучению тектонических движений М.В. Гзовский всегда уделял много сил и внимания, как в связи с изучением механизмов деформирования, так и в связи с выделением тектонических зон различной активности. В последние годы эти работы проводились совместно с сотрудником лаборатории А.А. Никоновым. В числе других рассматривались проблемы геофизической интерпретации данных о новейших и современных тектонических движениях, интерпретация соотношения между вертикальной и горизонтальной составляющими скорости глубинных тектонических движений. В свете актуальных в то время споров рассмотрены две схемы деформации земной коры и показано, что осуществление каждой из них зависит от соотношения величин вертикальной и горизонтальной компонент тектонических движений.

Большое внимание уделено вопросу о выявлении соотношения между градиентом скорости глубинных движений и напряженным состоянием земной коры и верхней части подкоревой оболочки. В то время считалось, что решение этого вопроса позволит найти эффективный способ оценки величин тектонических напряжений. С целью выделения областей разной тектонической активности изучались количественные характеристики современных и молодых тектонических движений в областях с разным тектоническим режимом, в результате чего была построена карта градиентов скоростей новейших вертикальных движений на территории СССР. Были разработаны также принципы составления карт глубинно-структурного районирования земной коры и определены области использования таких карт.

В начале 70-х годов была сделана попытка ввести понятие о современной тектонической активности крупных геоструктурных областей – платформ и орогенных областей (не обязательно и не только геосинклиналей). Современная тектоническая активность, как и современные движения земной коры, рассматривалась применительно к настоящему периоду длительностью  $10^2$ – $10^3$  лет. Измерять ее предполагалось по трем независимым группам данных, а именно современным движениям на поверхности, напряженному состоянию по измерениям в горных выработ-

ках, энергии и повторяемости землетрясений в земной коре (Гзовский, Никонов, 1973). Значимого развития эти предложения не получили. Вместе с тем можно отметить, что ни нового понимания тектонической активности крупных геоструктурных единиц, не говоря об отдельных разломах, ни способов измерения ее за прошедшие десятилетия не выдвинуто.

#### *5. Тектонофизика и сейсмичность*

Эти две области исследований в науках о Земле тесно взаимосвязаны и нуждаются друг в друге. Тектонофизика пользуется данными сейсмологии для реконструкции современных тектонических полей напряжений, для оценки величин напряжений и энергоемкости тектонических процессов. Вопрос стоит также о возможности использования сейсмических данных для характеристики реологических свойств массивов. Тектонофизика вносит свой вклад в решение ряда вопросов о сейсмичности. Вместе с сотрудниками (Г.И. Рейснер, Н.Н. Леонов, Ю.Г. Леонов и др.) М.В. Гзовский вплотную изучал вопросы возможного: тектонофизического обоснования геологических критериев сейсмичности, оценки силы землетрясений и их повторяемости. Особое внимание было уделено теоретическим и практическим вопросам сейсмического районирования. На примере Средней Азии реализованы новые методические подходы к сейсмическому районированию (совместно с В.И. Бунэ и Н.А. Введенской).

Таков неполный перечень тектонофизических задач и проблем, которые были рассмотрены, решались или были решены за последние семь лет его жизни.

#### IV. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ РАБОТА И МОНОГРАФИИ

М.В. Гзовский вел очень активную научно-организационную работу. Он участвовал во многих всесоюзных и международных совещаниях, конгрессах и ассамблеях; его доклады и статьи опубликованы во многих зарубежных изданиях, в том числе в Соединенных Штатах, Англии, Канаде, Франции, Японии, Китае и др. В 1957 г. В.В. Белоусов и он организовали Первое Всесоюзное тектонофизическое совещание, где собрались вместе геологи, физики, механики и физико-химики, специалисты по прочности, по свойствам горных пород и эквивалентных материалов. Труды этого совещания вышли в 1960 г. под названием “Проблемы тектонофизики”. В 1961 г. М.В. Гзовский активно участвовал во Всесоюзном Совещании по современным движениям земной коры в Москве. В мае 1971 г. М.В. Гзовский организовал и провел с горняками Всесоюзное совещание по тектоническим напряжениям в земной коре. В 1960–1963 гг. выходит уже упоминавшийся двухтомный

труд “Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория”. В 1964 г. вышла книга “Экспериментальная тектоника”, написанная М.В. Гзовским и В.В. Белоусовым и позже переведенная на английский язык. В 1969 г. закончена монография “Математика в геотектонике” (1971), посвященная рассмотрению математических методов и представлений, которые необходимо внедрять в геотектонику для превращения ее в точную науку. Эту книгу он рассматривал как пролог к будущей монографии по тектонофизике. В том же году вышел в свет сборник “Тектонофизика и механические свойства горных пород” под редакцией М.В. Гзовского и М.П. Воларовича. Сборник открывался большой статьей М.В. Гзовского “Современные возможности оценки тектонических напряжений в земной коре”. В последние месяцы жизни Михаил Владимирович активно готовил четыре доклада к 15-й Генеральной ассамблее Международного союза по геодезии и геофизике. Он работал до последнего дня и последнего часа жизни. Доклады эти были прочитаны на Ассамблее и опубликованы на двух языках – но это уже пришлось делать ученикам Михаила Владимировича.

Последняя работа М.В. Гзовского – монография “Основы тектонофизики” (1975 г.), объемом около 50 печатных листов, была составлена из его важнейших работ, в том числе и неопубликованных. Эта книга М.В. Гзовского, как и ряд его основополагающих работ, активно цитируется в современных публикациях. Результаты его исследований широко используются в ряде наук о Земле. Он создал не только научное направление, но и научную школу. К нему приезжали исследователи со всех концов нашей страны из Апатитов, Еревана, Кемерово, Львова, Ташкента и из многих зарубежных стран: из Англии, Японии, Германии, Китая, Югославии, Чехословакии, Болгарии. Приезжали за советом и консультацией либо на стажировку. И к каждой работе он проявлял живой интерес, обсуждал, старался помочь. Многие геологи и геофизики считают его своим учителем. И те, кто работали под его руководством, и те, кто взаимодействовали с ним только в научном отношении. Ряд его учеников стали известными исследователями в области тектонофизики. Среди них можно назвать П.Н. Николаева, О.И. Гущенко, В.Д. Парфенова, А.В. Михайлову и Ма-Цзинь, его аспирантку из Китая, которая стала ведущим тектонофизиком Китайской Народной Республики, профессором тектонофизики.

## V. ЗНАЧЕНИЕ РАБОТ М.В. ГЗОВСКОГО

Значение трудов М.В. Гзовского трудно переоценить. Прежде всего это совершенно новый подход к объекту исследования в геологии: оценка тектонической обстановки с учетом законов

механики – изучение тектонических деформаций в массиве с позиций тензорного исчисления, необходимость изучать механические свойства массива и природные поля напряжений, количественные исследования как природных объектов, так и их моделей.

Создание новой науки, как принято говорить, “на стыке двух дисциплин”, тем более таких, как геология и физика, повлекло за собой создание новой методологии. Геологи с интуитивным способом мышления, опирающимся на колоссальный опыт наблюдений, собственный и предыдущих поколений, должны теперь осваивать детерминативный подход к явлениям природы с жесткими причинно-следственными связями, опирающимися на результаты численных исследований. Рискнем очертить особенности методологии новой дисциплины, как ее, по нашему мнению, представлял создатель тектонофизики и как мы ее видим сами.

а. Все исследования должны опираться на натурные данные, приобретенные самим исследователем и (или) отраженные в геологической литературе.

б. Необходимо использовать количественный анализ для выявления качественных закономерностей геологических явлений и их характеристик.

в. Нужно использовать эквивалентное моделирование (в широком смысле) для исследования длительных тектонических процессов в обозримое время и на обозримом пространстве.

г. Надо использовать имеющиеся архивы для их переосмысления с новыми целями (сейсмические данные для изучения свойств горных пород в массивах, сейсмологические данные для реконструкции современных полей напряжений и т.д.).

д. Ввиду крайней сложности объекта исследования следует использовать возможности сопоставления результатов его изучения разнородными методами: сопоставлять результаты реконструкции полей напряжений с данными, полученными по измерениям *in situ*, по трещинам, по сейсмическим данным. Для изучения характеристик перемещений нужно использовать геодезический, геофизический, геоморфологический, геологические методы; для изучения механизмов формирования структур – синтезировать полевые исследования, эксперимент, математическое моделирование.

В практику исследований как научного характера, так и производственную наиболее прочно вошли следующие разработки М.В. Гзовского.

1. Учение о тектонических полях напряжений, включая методику реконструкции природных полей напряжений на основе теории Кулона и разработки о полях напряжений, возмущающихся тектоническими разрывами. Оба направления бурно развиваются, и в настоящее время создаются более совершенные и формализованные методики



на основе других моделей. Новые исследования в области влияния разрывов на поле напряжений используются при реконструкции полей напряжений, прогнозировании вторичных тектонических нарушений и прогнозировании тектонической обстановки в регионах.

2. Широко используется теория эквивалентного моделирования, разработанная применительно к геологическим объектам, при этом не только в геотектонике, но и в инженерной геологии. Она применяется для структур разных масштабов: локальных, региональных и глобальных – как у нас, так и за рубежом. Хотя эта методика и имеет ряд узких мест (невозможность на современном

уровне исследований соблюсти условие подобия по ускорению силы тяжести, невысокая точность соблюдения условий подобия и элементов кинематических и деформационных характеристик и др.), однако они обходятся некоторыми исследователями с помощью комбинирования теоретических и экспериментальных методик.

3. Существует также острый интерес к реконструкции механизмов формирования природных тектонических структур (ради чего, собственно, и создавалась вся система тектонофизических исследований), и в этом направлении работают исследователи как в России, так и за рубежом.