

напряженностью 80 тыс. *эрстед* при суммарном токе 6 млн. *а*. Механические усилия, испытываемые системой при прохождении через нее тока, очень велики — они достигают 16 *т* на сантиметр длины обмотки. Чтобы проводники не смещались со своих расчетных мест, их заключают в дюралевый корпус. Для питания магнитной системы используется специальный униполярный генератор, в котором запасается энергия $6 \cdot 10^8$ *дж*, причем около половины ее тратится на создание магнитного поля. Чтобы покрыть большие потери на рассеяние тепла в проводниках, необходимы длительные интервалы между циклами — на установке протоны будут ускоряться один раз в 10 мин. Предполагается, что через два года на установке будет получен пучок частиц.

Другой вариант безжелезного синхротрона был предложен Г. И. Будкером и А. А. Наумовым (Академия наук СССР). Особенностью этой конструкции является применение вместо системы проводников лишь одного витка, причем равнодействующая механических сил, действующих на этот виток, равна нулю. В настоящее время находится в стадии запуска установка на 200—300 *Мэв*. Радиус орбиты электронов равен 17 *см*. Магнитное поле создается импульсным током в 400 тыс. *а* при помощи особых разрядников.

Еще интереснее предложение Будкера об использовании в качестве фокусирующей системы ускорителя, так называемого стабилизированного электронного пучка: пуч-

ка релятивистских электронов, в который для компенсации кулоновских сил расталкивания добавлены положительные ионы. Так как кулоновское взаимодействие сильно ослабляется при приближении скорости электронов к скорости света, то число компенсирующих ионов мало. Пучок сжимается в очень узкий кольцевой «шнур» (по оценкам, поперечные размеры шнура будут порядка 0,01 *мм* при токе пучка около 100 *а*). Внутри «шнура» будут существовать обладающие фокусирующими свойствами магнитные поля с напряженностью около 10^5 *эрстед* и электрические поля порядка 10^5 *в/см*. В этом шнуре могут ускоряться положительные ионы. Чтобы поддержать стабилизированный электронный пучок кольцевой формы, потребуется внешнее магнитное поле, например, бетатронного типа, напряженностью всего около 100 *эрстед*. Экспериментальные работы по созданию стабилизированного пучка ведутся уже в течение полутора лет.

Предложенные новые методы ускорения открывают широкие перспективы в деле создания сравнительно дешевых малогабаритных ускорителей, которые будут служить источником частиц высоких энергий. Дальнейшее развитие ускорительной техники, создание большого числа новых ускорителей позволят широким фронтом развернуть исследования взаимодействия частиц высоких энергий и, таким образом, продвинуться еще дальше в изучении строения вещества.

ПРОБЛЕМЫ ТЕКТОНОФИЗИКИ

М. В. Гзовский

Кандидат геолого-минералогических наук
Институт физики Земли Академии наук СССР (Москва)

Решение ряда важнейших проблем и многих практических вопросов геологии и геофизики существенно зависит от того, как мы представляем себе механизм формирования разрывов, складок и других тектонических деформаций земной коры. Напри-

мер, нельзя решить кардинального вопроса геологии о причинах тектонических движений и развития структуры земной коры, не установив направления сил, деформирующих кору. Знание механизма преобразования структуры коры необходимо для того, что-

бы предвидеть, в каких местах на глубине могут находиться те не отражающиеся на поверхности изгибы слоев и трещины, к которым приурочены скопления нефти, руд и других полезных ископаемых. Выделение районов, подверженных землетрясениям различной силы (сейсмическое районирование), и поиски возможностей прогноза времени землетрясений требуют знания того, как распределяются напряжения в земной коре и под ней.

Поэтому на протяжении всей истории геологии предпринимались попытки выяснения механизма деформирования земной коры. Однако только недавно такие исследования приняли систематический характер и стали называться тектонофизическими. Объект изучения — разрывы и складки земной коры — является геологическим и должен исследоваться геологическими методами. Но процессы деформирования и развития разрывов не могут быть познаны без учета современных физических представлений и привлечения новых методов исследования. Поэтому тектонофизика развивается, опираясь на тектонику (раздел геологии, посвященный структуре Земли и в особенности ее коры) и на физику.

В ближайшем будущем практическое и теоретическое значение тектонофизики сильно возрастет, поскольку поиски и разведка полезных ископаемых направляются на все большие глубины. Дело в том, что с увеличением глубины горных выработок (скважин, шахт) отличие форм залегания слоев на глубине от их залегания у поверхности Земли становится все более значительным, и без тектонофизики невозможно предвидеть структуру глубоких частей земной коры. Кроме того, тектонофизические данные позволяют повышать детальность сейсмического районирования, т. е. выделять небольшие по площади районы, в которых ожидаются в будущем землетрясения различной силы.

Тектонофизические исследования в небольшом объеме уже давно ведутся в США, Германии и Франции. В течение последних двух десятилетий они стали быстро развиваться в Китайской Народной Республике, Чехословакии и особенно в СССР. Учитывая важность, новизну и дискуссионность многих положений тектонофизики, Институт физики Земли АН СССР организовал

первое тектонофизическое совещание, которое проходило в Москве с 29 января по 5 февраля 1957 г. В нем приняли участие представители 121 научной и производственной организации. В работах совещания участвовали специалисты из Чехословакии и Китайской Народной Республики. Было заслушано и обсуждено 29 докладов. Расскажем кратко о важнейших из них.

На совещании много внимания было уделено вопросам изучения механических свойств горных пород. С докладами по этим проблемам выступили проф. М. П. Воларович (Институт физики Земли АН СССР), проф. Б. В. Залесский и Ю. А. Розанов (Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР). Совещание пришло к выводу о необходимости в дальнейшем уделить основное внимание изучению процессов длительных деформаций и разрушения горных пород при различных напряженных состояниях и температуре. Было решено, что в первую очередь следует для возможно большего числа типов горных пород определить порядок величины основных характеристик, используемых в физико-химической механике для описания свойств любых твердых и даже жидких тел. К таким характеристикам относятся модули упругости, соответствующие условно-мгновенной деформации и упругому последствию, различные коэффициенты вязкости и периоды релаксации, а также прочности (с учетом длительности действия напряжений). Была отмечена необходимость разрабатывать методы изучения пластических и прочностных свойств неоднородных толщ горных пород в естественных условиях их залегания.

Большой интерес вызвали доклады о новейших представлениях относительно общих закономерностей деформирования и разрушения различных твердых и жидких тел, которые распространяются и на горные породы. Акад. П. А. Ребиндер (Институт физической химии АН СССР) подробно остановился на зависимости вязкости материалов от величины касательных напряжений и на типах вторичных структур различных тел, определяющих деформационные и прочностные свойства среды. Проф. Я. Б. Фридман (Московский инженерно-физический институт) подчеркнул важность четкого определения локальности разрушения горных пород

и указал на необходимость различать две стадии разрушения — длительную эволюционную и кратковременную с лавинным самопроизвольным разрушением, приводящим к окончательному формированию разрыва. Переход ко второй стадии, по мнению докладчика, определяется не только свойствами материала, но и рядом факторов, влияющих на величину напряжений, действующих в области разрушения во время второй стадии.

Живой интерес вызвало обсуждение методов моделирования тектонических процессов. Этот метод исключительно важен для тектонофизики, так как он позволяет исследователю как бы присутствовать с начала и до конца при развитии тех явлений, которые в природе длятся десятками миллионов лет. В лаборатории продолжительность опыта составляет несколько суток, часов или даже минут. Кроме того, следуя за развитием модели некоторой части земной коры, можно видеть то, что происходит в местах, соответствующих недоступным для нас глубинам земного шара. Ведь величина модели обычно в 10 000 или 100 000 раз меньше природного объекта. Теория подобия позволяет заранее вычислить, какими механическими свойствами должны обладать модели для того, чтобы развивающиеся в них деформации и разрывы приводили к образованию таких же складок и других нарушений первоначальной структуры, какие имеют место в природной земной коре.

Особенно перспективным следует считать начатое в СССР изучение прозрачных моделей из оптически активных материалов. Просвечивая их поляризованным светом, через оптический анализатор можно видеть не только изменения в форме отдельных частей модели и возникающие в них разрывы, но и напряжения. Последние становятся видимыми потому, что окраска отдельных частей каждой модели зависит от величины действующих в них напряжений. Выясненные таким способом закономерности распределения напряжений позволяют объяснить многие особенности процесса и предвидеть где, в какой последовательности и какого типа разрывы должны появляться.

Конечно, испытания моделей не заменяют изучения природных объектов, но они могут помочь при интерпретации наблюдаемых отрывочных сведений и при уточнении рабо-

чих гипотез, лежащих в основе поисков и разведок месторождений, залегающих на большой глубине.

Несмотря на заманчивые возможности, метод моделирования не находил широкого применения в геологии, поскольку не были выяснены его принципиальные возможности и практическая осуществимость. Кроме того, мы не располагали еще достаточно полно разработанной методикой моделирования. Разностороннее обсуждение метода было одной из важных задач совещания.

Общие принципы теории моделирования физических явлений были изложены проф. Л. С. Эйгенсоном (Московский энергетический институт); М. В. Гзовский (Институт физики Земли АН СССР) остановился на теоретическом обосновании и методике моделирования тектонических процессов. После доклада был продемонстрирован процесс деформирования пластичной прозрачной модели, воспроизводившей рост горного поднятия.

Д. Н. Осокина (Институт физики Земли АН СССР) рассказала о результатах исследований, проведенных совместно с проф. Г. В. Виноградовым, В. П. Павловым и М. В. Гзовским. Ими были разработаны рецептура нового пластичного, оптически активного материала для изготовления прозрачных моделей и методика исследования его физических свойств.

Ряд докладов был посвящен изучению механизма формирования крупных структурных элементов земной коры. Чл.-корр. АН СССР В. В. Белоусов (Институт физики Земли АН СССР), опираясь на примеры Кавказа и Альп, рассмотрел складкообразование как реакцию слоистых пластичных толщ горных пород на дифференциальные вертикальные движения нижележащих блоков земной коры. В зависимости от сложности этой реакции им было выделено три основных типа складчатости: глыбовая, нагнетания и смятия, и дано объяснение возможных причин их возникновения. Проф. Г. Д. Аджигрей (Московский государственный университет) и П. Н. Кропоткин (Геологический институт АН СССР) говорили о явлениях сжатия и растяжения в земной коре и о возможностях их изучения при полевом и геологическом исследовании структурных форм, созданных в обстановке горизонтального сжатия и горизонтального растяжения.

Проф. Н. И. Николаев (Московский геолого-разведочный институт) на примере хребта Каратау в Южном Казахстане показал, каким образом можно изучать механизм формирования тех складок и разрывов, которые развиваются в новейшее время. В. И. Кейлис-Борок (Институт физики Земли АН СССР) изложил сущность разработанного им геофизического метода определения наклона разрыва, находящегося на глубине, и направления смещений вдоль него в тех случаях, когда эти смещения происходят в настоящее время и сопровождаются землетрясениями. По этому методу удалось установить наклон разрывов и направление смещения их крыльев на глубине 200—300 км от поверхности земли.

Большая группа докладов была посвящена методам и задачам детального изучения тектонических разрывов, в особенности трещиноватости на участках месторождения полезных ископаемых как магматогенного, так и осадочного происхождения.

Проф. Ф. И. Вольфсон (Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР) и другие много внимания уделили основным закономерностям образования трещин, их распространению в пространстве и последовательности возникновения. При этом приводились примеры того, как на разных этапах формирования месторождений план и характер деформаций многократно изменялся. Н. И. Бородаевский (Всесоюзный научно-исследовательский геолого-разведочный институт золота) предложил выделять определенную систему этапов формирования структуры рудных полей. На примерах месторождений золота им было показано, насколько важно при разведке учитывать различия в механических свойствах различных геологических тел и выделять те из них, которые содержат наибольшее количество трещин. Такие тела он предложил называть «локализаторами трещин». На Березовском месторождении золота на Урале выяснилось, что на площади в 100 км² имеется 400 000 кварцевых золотосных жил, заполняющих трещины в жилах гранит-порфиров, являющихся здесь «локализаторами трещин». Вмещающие их осадочные

и вулканогенные породы содержат всего лишь 200 кварцевых золотосных жил, хотя объем этих пород во много раз больше объема гранит-порфиров.

На совещании была продолжена давно идущая дискуссия о природе кливажа. Кливаж называется способность горных пород расщепляться на тонкие пластинки, расположенные наискось к слоистости. Совещание рекомендовало провести специальные полевые и лабораторные исследования с целью генетической классификации тех образований различного происхождения, которые в настоящее время объединяются термином кливаж.

Проф. А. В. Пэк (Новочеркасский политехнический институт) охарактеризовал современное состояние метода микроскопического изучения структур горных пород с целью выяснения характера испытанных ими деформаций (петротектоника). Ценные сведения о закономерностях пластических деформаций кварца в лабораторных условиях были сообщены в докладе Е. В. Цинзерлинг (Институт кристаллографии АН СССР).

Очередные задачи в области физического и механического изучения тектонически деформированных горных пород, важные для инженерной геологии, рассматривались в докладе проф. И. В. Попова (Лаборатория гидрогеологических проблем АН СССР). Им был поставлен вопрос об изыскании «геологических динамометров», т. е. таких образований или явлений, которые свидетельствуют об определенной величине напряжений, действовавших в прошлом или же имеющих место сейчас в земной коре.

Совещание приняло развернутое решение, оценивающее современное состояние и задачи дальнейших тектонофизических исследований. В целях более тесного научного общения представителей различных наук, объединение которых необходимо для развития тектонофизических исследований, совещание рекомендовало организовать постоянный тектонофизический семинар с привлечением научных и производственных учреждений, заинтересованных в развитии тектонофизики.