3.4. ОТ ТЕКТОНИКИ К ГЕОДИНАМИКЕ

Н.Л. Добрецов, В.Д. Ермиков, М.М. Буслов,
В.И. Громин, В.А. Верниковский

Как и весь Институт геологии и геофизики, коллектив тектонистов в его составе сложился из представителей разных научных школ. Во главе встали яркие представители московской ГИНовской (Геологического института АН СССР) школы, основанной в 1934 г. выдающимся геологом академиком А.Д. Архангельским и возглавляемой с 1940 г. не менее выдающимся ученым академиком Н.С. Шатским. В отделе тектоники ГИНа в разные годы работали А.А. Богданов, Н.А. Богданов, Н.С. Зайцев, А.Л. Книппер, Ю.А. Косыгин, П.Н. Кропоткин, Ю.Г. Леонов, И.В. Лучицкий, Н.Г. Маркова, М.В. Муратов, М.С. Нагибина, П.Е. Офман, А.В. Пейве, Ю.М. Пущаровский, В.Н. Соболевская, Н.П. Херасков, Н.А. Штрейс, А.Л. Яншин. Впечатляющий список имен!

В Сибирь из этого коллектива поехали вначале И.В. Лучицкий (в 1956 г.), затем Ю.А. Косыгин и А.Л. Яншин. Академик Александр Леонидович Яншин стал заместителем директора Института геологии и геофизики СО АН СССР и возглавил отделение института с длинным наименованием, коротко называемое «экзогенное». Д.г.-м.н. (чл.-кор. АН СССР с 1968 г.) Игорь Владимирович Лучицкий начал с Горно-геологического института Западно-Сибирского филиала АН СССР (с 1956 г.), затем организовал и возглавил Красноярскую комплексную лабораторию ИГиГ СО АН СССР (1961–1962), позднее стал заведовать лабораторией экспериментальной тектоники ИГиГ СО АН СССР в Новосибирске (1962–1979).

Член-корреспондент АН СССР Ю.А. Косыгин создал и возглавил лабораторию тектонической карты – позднее лабораторию геотектоники – отдел тектоники ИГиГ СО АН СССР. К 1958 г. Юрий Александрович был известен как признанный специалист по тектонике соленосных и нефтеносных областей, что, видимо, сыграло свою роль при выборе его кандидатуры А.А. Трофимуком для организации тектонических исследований в Сибири.

Академик Ю.А. Косыгин. 1985 г.

При формировании коллектива тектонистов Ю.А. Косыгин не проявил торопливости. Нужные кадры подбирались несколько лет. В начальный состав вошли опытные сотрудники, со сложившимися научными традициями и своими интересами, такие как Ариадна Леонидовна Матвеевская из влившегося в Сибирское отделение Горно-геологического института ЗСФ АН СССР и Борис Николаевич Красильников из Московского геолого-разведочного института, а также два выпускника геологического факультета МГУ 1958 г. братья-близнецы Олег Алиевич Вотах и Владимир Алиевич Соловьёв. В сле-

дующем году были приняты еще три выпускника МГУ — Алексей Константинович Башарин, Николай Августович Берзин и Леонид Михайлович Парфёнов. В самом начале 60-х годов в лабораторию были зачислены выпускники того же факультета МГУ Надежда Павловна Башарина и, после аспирантуры в МГУ у В.Е. Хаина и защиты кандидатской диссертации в ГИНе, Чермен Бейбулатович Борукаев, а также опытный геолог, кандидат наук Константин Владимирович Боголепов из Красноярского геологического управления.

Еще позднее в лаборатории появились Вадим Иванович Громин (перешедший затем в экспериментальную тектонику), аспирант Александр Михайлович Боровиков (из Ленинграда), Борис Маркович Чиков (из Магадана), Григорий Семенович Фрадкин (из Якутска) и, по мере становления Новосибирского госуниверситета, студенты, а затем выпускники — воспитанники первых сотрудников лаборатории: Валерий Дмитриевич Ермиков, Петр Павлович Кузнецов, Сергей Юрьевич Беляев, Алексей Андреевич Пузырёв, Михаил Михайлович Буслов, а также аспиранты Г.М. Волонтэй, А.А. Врублевский, Р.И. Гришкян, В.А. Кулындышев.

При комплектовании состава и организации работы тектонического коллектива Ю.А. Косыгин во многом использовал опыт отдела тектоники ГИНа, сложившегося при Н.С. Шатском. Позднее в своих воспоминаниях Юрий Александрович писал: «Научный коллектив отдела был подлинно творчески увлеченным коллективом, состоящим из людей, мысливших по-разному, склонявшихся к различным концепциям, но удивительно спаянным и гармонично дополнявшим друг друга в общем коллективном, всегда целенаправленном труде: Н.С. Шатский был душой этого коллектива, подлинным генератором идей, порой неожиданных и парадоксальных, но всегда увлекательных и волнующих. Он был на голову выше всех нас по живости и остроте ума. Это было очень хорошо, потому что в научных коллективах всегда необходим подлинный лидер...»*

Став лидером, Ю.А. Косыгин стремился создать такой коллектив в Сибири. В лаборатории, затем отделе тектоники ИГиГ, как правило, выполнялись две-три коллективные темы, в рамках которых за отдельными научными сотрудниками закреплялись конкретные разделы или территории (при составлении тектонических карт), которые они курировали, где проводили экспедиционные исследования, на материалах которых защищали кандидатские и докторские диссертации.

Режим работы лаборатории был достаточно свободный. Его Ю.А. Косыгин определял так: «Доктор наук может на работу не ходить — он и дома думает о науке, кандидаты наук — старшие научные сотрудники — могут не ходить, но после моего разрешения, младшие научные сотрудники и лаборанты должны быть на рабочем месте "от и до". Все научные сотрудники обязательно должны быть на работе в пятницу и присутствовать на коллоквиуме». Тектонические коллоквиумы были важным элементом работы лаборатории. На них обсуждались все подготовленные к печати статьи, диссертации, делались научные обзоры по направлениям, рассматривались любые предложения сотрудников по направлениям или организации исследований и т. п. Друг друга здесь не жалели, наоборот, была тенденция перед

* Здесь и далее: Косыгин Ю.А. Опыт интеллектуальной биографии // Косыгин Ю.А. Человек. Земля. Вселенная. М.: Наука, 1995. С. 288.

выходом на публику все хорошенько «почистить», не считаясь со временем. Доставалось и посторонним, выступления и доклады которых иногда заслушивались.

Первая крупная работа, которой занялась тектоническая лаборатория ИГиГ, также была «унаследована» от ГИНа. Из воспоминаний Ю.А. Косыгина (с. 301): «При составлении тектонических карт в отделе Н.С. Шатского выяснились серьезные изъяны в тектонической терминологии. Так, тектонические формы одного и того же типа в разных районах назывались по-разному, а разные типы одинаково. Изжить эти противоречия в процессе составления карт оказалось невозможным. Сам Н.С. Шатский еще в 1947 году писал, что в тектонической терминологии "господствует несусветный хаос"; ранее по той же причине Лонгвелл назвал тектонику "сумасшедшим домом"...

...В 1958 году я оставил стены ГИНа и переехал в Новосибирск... Два выпускника МГУ, которых я привез из Москвы, — О.А. Вотах и В.А. Соловьёв... в полевые экспедиции на свои геологические объекты не могли выехать раньше весны 1959 года и начать свой самостоятельный путь в науке. А в зимний сезон 1958/59 г. я решил с их помощью продвинуть решение терминологического вопроса. В Новосибирске хороших библиотек не было, поэтому им пришлось выезжать в длительные командировки в Москву. Работали они очень интенсивно; привозили с собой массу библиографических карточек, на которых были выписаны термины и определения соответствующих им понятий. Сам я тоже в эту зиму занимался такой же работой и по мере возможности втягивал в нее новосибирских аборигенов, сотрудников моей лаборатории. Для молодых специалистов эта работа оказалась весьма полезной — она расширяла их научный кругозор. Анализ и сопоставление определений понятий пролагали путь к логическому мышлению, и они включались в большую коллективную работу, на некоторое время объединившую почти весь состав нашей лаборатории. В результате этих работ в 1961—1964 гг. были изданы "Материалы по тектонической терминологии" в трех книгах...»

Большой спрос на терминологические издания в то время был обусловлен широко проводившимися в нашей стране геолого-съемочными работами. Поэтому уже в 1970 г. издательство «Недра» выпустило новый капитальный труд лаборатории геотектоники: «Справочник по тектонической терминологии» объемом более 52 учетно-издательских листов, в котором было использовано 987 литературных источников. При тираже пять тысяч экземпляров эта книга разошлась в течение нескольких дней. Она и поныне используется специалистами, хотя скорее уже в историческом плане.

В 1970 г. Ю.А. Косыгин, уже академик, создал в г. Хабаровске Институт тектоники и геофизики Дальневосточного отделения АН СССР (ныне носящий его имя). С ним уехала и часть авторов «Справочника...». Один из них, В.А. Соловьёв, возглавил отдел общей и теоретической тектоники, в котором были продолжены терминологические работы и, заполняя имевшиеся и возникающие «лакуны» в «Справочнике...», выпущен ряд специализированных справочных изданий, среди которых «Формы геологических тел» (1974), «Тектоника континентов и океанов» (1979), «Общая стратиграфия» (1979), «Геологические формации» (1982), «Геологические тела» (1982) и др.

Тем временем в мировой научной геологии происходила смена парадигмы: новая глобальная тектоника или «тектоника плит» вместо геосинклинальной гипотезы. В новой парадигме Ю.А. Косыгин «не нашел себя» (или не счел нужным находить), но ряд его учеников — Н.А. Берзин, Ч.Б. Борукаев, Л.М. Парфёнов добились впечатляющих успехов.

В частности, с учетом новой парадигмы чл.-кор. РАН Ч.Б. Борукаев спустя 30 лет сумел вернуться к вопросу терминологии и создать изящный и емкий (360 статей и 480 терминов) «Словарь-справочник по современной тектонической терминологии», изданный в Объединенном институте геологии, геофизики и минералогии СО РАН в 1999 г. и ставший, к сожалению, своеобразным памятником безвременно ушедшему замечательному ученому.

В 60-е годы работа по терминологии в ИГиГ не была самоцелью. Она создавала новые возможности по упорядочению геологической науки. Из воспоминаний Ю.А. Косыгина: «Преимущество работы в Новосибирске (в Академгородке) обеспечивалось концентрацией представителей разных специальностей. Мы встречались на улице, на зрелищных мероприятиях, заходили домой друг к другу, т. е. постоянно общались. В разговорах возникали общие проблемы, обнаруживалась необходимость взаимных консультаций. Все это очень много давало для развития науки вширь, причем часто совершенно непреднамеренно, а как бы само собой.

Особенно тесно я сблизился с математиками (член-корреспондент А.А. Ляпунов, основоположник введения и признания кибернетики в нашей стране, Ю.А. Воронин и др.); они очень помогли мне во многом... Вопрос о геологической границе оказался очень тонким, и обсуждение его заняло полгода. Для этого определения понадобилось ввести понятие геологического пространства, причем обязательно специализированного. В 1964 году по этому вопросу было опубликовано две статьи.

В 1965 году была опубликована моя совместная с Ю.А. Ворониным работа "Геологическое пространство как основа структурных построений", она была напечатана в трех последовательных номерах журнала "Геология и геофизика". Составляющие ее три части назывались так: 1. Геологическое про-

Погоду математики изменить не в силах. Ю.А. Воронин в экспедиционном отряде В.А. Соловьёва. Бурятия, 1964 г.

странство. 2. Геологические границы и выделение геологических тел. 3. Описание геологических тел. К последней части примкнул Чермен Бейбулатович Борукаев... Таким образом, дело сдвинулось с места. В 1966–1967 гг. появились две статьи о геологической структуре: "Определение понятия геологической структуры" (примкнул еще соавтор – Л.М. Парфёнов) и "Описание геологической структуры". Далее намеченное направление развивалось и появилось большое количество публикаций. Как наиболее существенную отмечу "Принципы тектонического районирования". Это было уже первое практическое воплощение размышлений...» (с. 302–304).

Методологические исследования в ИГиГ привлекли внимание широкой научной общественности, не только геологов, но и математиков. Вначале эти проблемы бурно обсуждались на институтских семинарах, затем с 1964 г. в Академгородке с регулярностью один-два года стали проходить отечественные и международные конференции по применению математики и компьютеров в геологии. Одним из важных итогов этих конференций стало понимание, что опыт и информационная база традиционной геологии не могут быть освоены без формализованной методологии и новой математизированной теории. Это привело к созданию нового научного направления – геокибернетики. Новое направление успешно развивалось отделом под руководством Ю.А. Воронина, который в 1971 г. по инициативе Г.И. Марчука перешел из ИГиГ в Вычислительный центр СО АН СССР.

Геокибернетика по Ю.А. Воронину включала два направления: теоретическую геологию (на основе нового формального языка и методов кибернетики) и вычислительную геологоразведку. По второму направлению под руководством Ю.А. Воронина создан ряд пакетов компьютерных программ и автоматизированных систем для решения задач геологоразведки, которые были внедрены в геолого-разведочных организациях, опробованы на реальном геологическом материале и принесли подтвержденный экономический эффект.

Результаты теоретических исследований по первому направлению сразу же были использованы в конкретных работах лаборатории геотектоники ИГиГ. Именно на их основе родилась новая методика тектонического районирования по «структурно-вещественным признакам минеральных масс».

В этой методике структура рассматривалась как взаимное расположение геологических тел. Классификация последних строилась исходя из непосредственно наблюдаемых характеристик: вещественного состава тел, способа их сочетания, степени дислоцированности. Элементы этой методики проявились уже в первых работах в рамках главного направления исследований лаборатории геотектоники ИГиГ.

Главное направление работы молодого коллектива лаборатории заключалось в изучении тектоники Сибири. Акцент был сделан на расшифровке структуры и составлении тектонических карт самых древних (докембрийских) и молодых (мезозойско-кайнозойских) образований. Соответственно были сформированы две группы. В первую – докембрийскую под руководством Ю.А. Косыгина – вошли А.К. Башарин, Н.А. Берзин, О.А. Вотах, Л.М. Парфёнов. Позднее к ним присоединились Ч.Б. Борукаев и Б.М. Чиков. Руководство мезозойской группой было доверено К.Б. Боголепову. В нее вошли Н.П. Башарина, В.А. Соловьёв, позднее – В.Д. Ермиков, А.А. Врублевский. Определенной свободой в выборе тематики пользовались А.М. Боровиков, Б.Н. Красильников, А.Л. Матвеевская и Г.С. Фрадкин, чьи научные

интересы лежали в палеозое, т. е. за рамками двух магистральных тем лаборатории, к работе по которым они привлекались эпизодически. И.В. Лучицкий в 1962 г. возглавил лабораторию экспериментальной тектоники, куда «взял с собой» В.И. Громина.

Изначально договорились о районах полевых работ. О.А. Вотаху досталась вся западная окраина Сибирской платформы, А.К. Башарину — ее восточные окраины, Н.А. Берзину и Л.М. Парфёнову — южное обрамление платформы (Саяны и Прибайкалье), А.М. Боровикову — Западные Саяны, В.А. Соловьёву и В.Д. Ермикову — Забайкалье, Н.П. Башариной — Хакассия и Тува. Изучение Западной Сибири и прилегающего Казахстана обеспечивалось А.Л. Матвеевской.

В те годы в отечественной геологии была популярна концепция «аккреции» — последовательного обрастания древних платформ молодыми складчатыми областями. Ю.А. Косыгин и И.В. Лучицкий придавали большое значение процессам «обрушения», перестройки структурного плана, особенно четко проявившимся в начале рифея. Эти идеи были положены в основу «Карты докембрийской тектоники Сибири» в масштабе 1:5 000 000 с объяснительной запиской, вышедшей в 1962 г. На ней была изображена структура докембрийского этажа со снятыми фанерозойскими отложениями. Карта была встречена научной общественностью с большим интересом.

На этой основе были продолжены работы по отдельным крупным районам Сибири, и в 1964—1966 гг. молодые соавторы первой карты подготовили и успешно защитили кандидатские диссертации, которые были изданы в виде монографий. В то время в лаборатории сложилась замечательная традиция. Процесс защиты диссертаций фотографировался, оперативно печата-

Редкий снимок. Чл.-кор. АН СССР Ю.А. Косыгин в Баргузинской тайге. Экспедиционный отряд В.А. Соловьёва. 1961 г.

лись фотографии и готовился сценарий, а вечером того же дня «имениннику» вручался иллюстрированный тематический альбом с шуточными комментариями. Например, учитывая спортивные наклонности подзащитного, один из фотоальбомов был подан в виде репортажа «спортивной редакции лаборатории геотектоники» с хоккейного матча между сборной командой звезд института (совет по защитам) и Сибирским отделением общества «Искатель», сокращенно СО-искатель. Непременным автором этих замечательных альбомов был Ч.Б. Борукаев.

При составлении Сибирской карты возник ряд теоретических вопросов и выявлены закономерности, для уточнения которых потребовался анализ материалов в глобальном масштабе. Поэтому после некоторого промежуточного этапа — выхода в свет «Карты складчатых комплексов Сибири и Дальнего Востока» (1965) — началось активное изучение тектоники докембрия континентов. Эта работа потребовала усиления интеграции и выполнялась большим коллективом с участием сотрудников многочисленных институтов АН СССР, организаций Министерства геологии СССР, а также Геологического института АН Болгарии. Вместе с тем методология тектонического районирования, принципы легенды, окончательная интерпретация материалов разрабатывались в лаборатории геотектоники под руководством Ю.А. Косыгина, Ч.Б. Борукаева и Л.М. Парфёнова. Графическое оформление карты (разработка цветовой легенды, изготовление оригинал-макетов) также производилось в картсекторе лаборатории под руководством опытного картографа Елены Константиновны Шмидт.

Главный принцип новой методики тектонического районирования по структурно-вещественным признакам минеральных масс, разработанной в лаборатории специально для «Карты тектоники докембрия континентов», заключался в расчленении докембрия по непосредственно наблюдаемым признакам. Количество признаков, степень точности изучения, их специализация определялись спецификой объекта, целями и масштабом исследований.

Для Карты за основную единицу докембрия был принят структурно-вещественный комплекс — крупное геологическое тело, отличающееся от смежных с ним тел значениями вещественных и структурных характеристик, ограниченное, как правило, поверхностями региональных несогласий. Под вещественными характеристиками понимался состав пород, способы чередования пластов, количественные соотношения компонентов и, отчасти, геометрические особенности тела в целом (форма, размеры, сплошность и т. п.). Особенностью классификации было то, что при определении вещественных характеристик авторами использовались доступные методы перевода метаморфических пород в свои неметаморфизованные аналоги, и только после этого они относились к тому или иному классу. Интрузивные комплексы на Карте были разделены исключительно по среднему вещественному составу. Была принята упрощенная классификация с выделением гранитоидов и габброидов (включая гипербазиты); более дробное деление к докембрию в то время было неприменимо. Под структурными характеристиками понималась дислоцированность пластов — складчатые или нескладчатые; при этом возраст дисклокаций не учитывался, так как Карта отражала современную структуру докембрийских толщ.

Интерпретация выделенных комплексов производилась в рамках господствовавшего тогда учения о геосинклиналях, поэтому к главной части выделяемых структурно-вещественных комплексов были применены основные термины этого учения: они подразделялись на две крупные группы — плат-

форменные и геосинклинальные (включая орогенные). Формальное разделение вещественных и структурных характеристик и использование их в качестве равноправных привело к выделению четырех классов комплексов: геосинклинальные складчатые, геосинклинальные нескладчатые (были выделены впервые), платформенные складчатые и платформенные нескладчатые.

Затруднения вызвал вопрос о классификации образований, метаморфизованных в гранулитовой и амфиболитовой фациях, первичный состав (литологические аналоги) которых восстанавливался наименее достоверно. На Карте они были отнесены условно к классу геосинклинальных складчатых, к которому, несомненно, принадлежала их большая часть.

Чтобы придать Карте «третье измерение» и показать взаимоотношения комплексов, была проведена специальная работа по анализу существующих методов хронологического расчленения докембрия: строго сформулированы основные требования к системам возрастных подразделений и разработана специальная эталонная шкала возрастных подразделений докембрия (их оказалось 13), которые для более полного отражения взаимоотношений были выбраны так, что частично перекрывали друг друга (рис. 1).

Возрастная индексация конкретных комплексов проводилась путем сравнения с эталонным набором. Основой корреляций являлись радиохронологические данные.

«Карта тектоники докембрия континентов» масштаба 1:5 000 000 вышла из печати в 1972 г., объяснительная записка к ней — в 1974 г. Составление Карты и Объяснительной записки впервые в мире создало новую, более надежную основу для сравнительно-тектонического анализа докембрия, поскольку обеспечило унифицированное в рамках единой методики районирование всех континентов. Результаты этого анализа изложены в фундаментальной шеститомной серии монографий «Докембрий континентов»

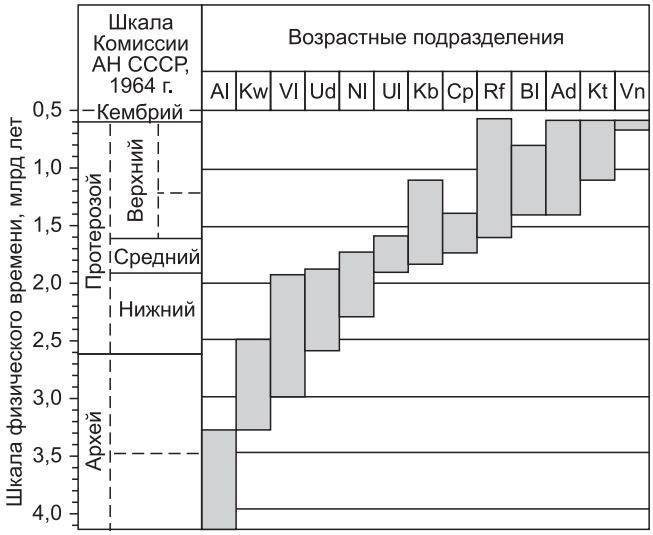


Рис. 1. Эталонная шкала возрастных подразделений, использованная при составлении «Карты тектоники...» (1972).

Al — алданий, Kw — киватиний, Vl — ваалий, Ud — удоканий, Nl — наллагайний, Ul — улканий, Kb — кибарий, Cp — карпентарий, Rf — рифей, Bl — белтий, Ad — аделаидий, Kt — катангий, Vn — венд.

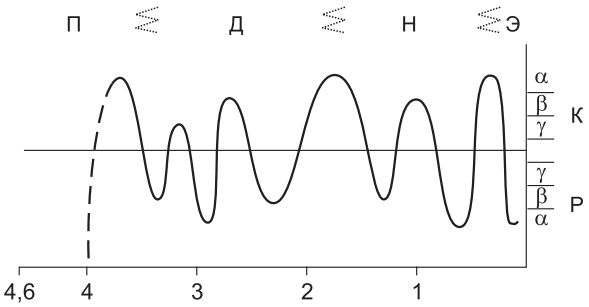


Рис. 2. График эволюции структуры стратисферы.

На оси абсцисс — время в млрд лет. На оси ординат — консолидации (К) и регенерации (Р) по мере возрастания интенсивности γ, β и α. Мегахроны: П — протогей, Д — дейторогей, Н — неогей и Э — эпинеогей.

(1975—1978). Тома были посвящены отдельным континентам и крупнейшим структурам. В заключительном томе охарактеризованы основные черты тектоники докембрия, намечены особенности эволюции структур и представлена новая схема периодизации тектонической истории Земли (рис. 2). История развития Земли, охватывающая 85 % интервала существования нашей планеты, предстала в виде эволюционного процесса, осложненного явлениями периодичности и эпохами перестроек структурного плана.

Вместе с тем работа над Картой и Объяснительной запиской выявила ряд противоречий, связанных с применением к докембрию учения о геосинклиналях. Так, например, кроме упомянутых затруднений с классификацией глубокометаморфизованных пород, для древних толщ оказались характерными явления складчатости, магматизма и метаморфизма, не связанные с предварительной геосинклинальной стадией. На Карте зоны активного проявления таких процессов вслед за М.А. Семихатовым выделяются как зоны диасхизиса (активизации). Оказалось, что такие процессы проявлены достаточно широко, но ни в одном из районов движения не имели характера завершающей складчатости, повсеместно выражаясь лишь в переработке более древней континентальной коры, а местами в деформации и метаморфизме перекрывающих ее эпиконтинентальных толщ. Диасхизис как процесс преобразования континентальной коры вообще не находит места в ряду процессов, рассматриваемых геосинклинальным учением.

Уже в заключение итоговой книги серии «Докембрий континентов» «Основные черты тектоники» Ч.Б. Борукаев (в 1978 г.) пишет: «Учение о геосинклиналях, детально рассматривая поздние стадии развития геосинклинальных областей, почти не касается вопросов заложения этих областей и их возникновения...

...Все это приводит к мысли, что первоочередная задача — уточнение учения о геосинклиналях. Вероятно, нужна корректировка учения с применением идей неомобилизма и "новой глобальной тектоники"...» (с. 240).

Фундаментальный анализ структуры докембрия с позиции тектоники плит Ч.Б. Борукаев изложил в работе «Структура докембрия и тектоника плит» (Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. 190 с.). Автором выделены главные типы геоструктурных областей и охарактеризованы геодинамические обстановки их формирования; рассмотрены взаимоотношения этих областей в пределах хроностратиграфических этажей, определяющих тип структурного рисунка. Показано, что этажи с разнотипной структурой зако-

номерно чередуются. Обоснована новая схема периодизации тектонической истории Земли.

Впервые показано, что механизмы тектоники плит действовали на протяжении всей обозримой геологической истории, но форма их выражения периодически менялась в связи со сменой структуры конвекции в мантии. Намечены парагенезы геодинамических обстановок, отвечающие разным типам структуры конвекции.

Другой важный вывод касался периодического образования в докембрии суперконтинентов, в том числе первого уже на исходе раннего архея (катархея).

Эту линию Ч.Б. Борукаев продолжил в своей последней краткой и оригинальной работе «Тектоника литосферных плит в архее» (Новосибирск. Тр. ОИГГМ СО РАН. Вып. 825. 1996. 60 с.). В ней он обобщил новейшие данные по структуре гранит-зеленокаменных областей архея и отметил широкое распространение на этом этаже аккреционных комплексов, весьма близких по главным структурно-вещественным характеристикам складчато-покровным поясам рифея—фанерозоя. Автором рассмотрены некоторые модели строения и развития Земли на ранних стадиях — проблемы состава и строения первичной земной коры, генезиса кор океанического и континентального типа и т. п. Убедительно показано, что главный объем континентальной коры возник в допозднеархейское время, возможно, даже в доархее—хадии.

По мнению Ч.Б. Борукаева, большую роль в архее играли процессы глубинной геодинамики, но связь плюм- и плейт-тектоники практически не изменялась на протяжении всей истории Земли. Главные различия между археем и фанерозоем в основном определяются повышенным тепловым потоком, связанным с более высокой температурой мантии и, соответственно, ускоренной конвекцией. Сегодня эти выводы в той или иной мере разделяют большинство докембристов мира. Дискуссионными остаются вопросы о размерах плит и особенностях древних зон субдукции.

С этой работой Ч.Б. Борукаева докембрийская тематика лаборатории геотектоники получила некое логическое завершение. В эпоху революций и смены основных парадигм в геологической науке она претерпела органичную эволюцию от тектоники к геодинамике, а цикл работ, написанный в рамках тематики по докембрию, является беспрецедентным в мировой научной геологической литературе.

Вторым магистральным направлением работ лаборатории геотектоники являлся мезозой. К началу исследований (1961 г.) наименее разработанными были вопросы внутриконтинентальной тектоники, послескладчатого развития геосинклинальных областей, соотношения молодых платформ и их щитов. За короткий срок группа под руководством К.В. Боголепова составила принципиально новую «Карту мезозойской и кайнозойской тектоники Сибири и Дальнего Востока» в масштабе 1:5 000 000, послужившую импульсом для начала углубленных разработок целого ряда проблем. Результаты нашли выражение в серии многочисленных статей и итоговой монографии К.В. Боголепова «Мезозойская тектоника Сибири», которая в 1979 г. была удостоена премии АН СССР им. академика В.А. Обручева.

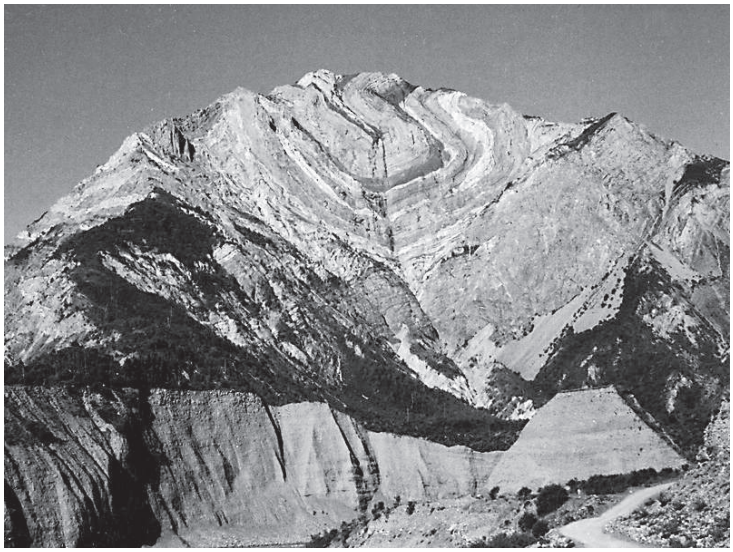
В этом цикле работ предложена новая классификация тектонических структур. Наряду с геосинклинальными и шельфовыми выделены структуры континентального ряда, образующиеся в условиях преобладающих сводовых поднятий — крупных линейно вытянутых или изометричных участков земной коры.

Научный совет по тектонике Сибири и Дальнего Востока, XIII сессия. Дискуссия на обнажении: К.В. Боголепов и Ч.Б. Борукаев. Река Лена, 1980 г.

Следующим этапом стало выделение К.В. Боголеповым структур «третьего типа», названных им дейтероорогенными. Орогенез как резко выраженное дифференцированное поднятие противоположен геосинклинальному процессу — дифференцированному погружению. К.В. Боголепов счел целесообразным различать протоорогенез — первичное горообразование, следующее непосредственно за геосинклинальным процессом, и дейтероорогенез — повторное, или возрожденное, горообразование, проявляющееся на месте ранее существовавших пенепленизированных горных сооружений или сегментов земной коры, переживших платформенное состояние.

Области и пояса дейтероорогенеза выделялись в качестве самостоятельного типа подвижных поясов Земли наряду с геосинклиналями, эпигеосинклинальными орогенами и океанскими рифтовыми поясами. Такая классификация позволяет говорить о том, что эти работы заложили основы нового направления, сопряженного с процессами активизации, представления о которых активно развивались в то же время во ВСЕГЕИ.

По различиям в структуре и динамике развития выделялись два важнейших типа дейтероорогенных областей. Один из них характеризуется скучиванием сиалического слоя вдоль границ надвинутых одна на другую литосферных плит или в зонах их дополнительной блокировки и сжатия. Таким областям свойственны контрастные формы горного рельефа, созданные системами часто чередующихся сводово-глыбовых поднятий и межгорных впадин. К этому типу была отнесена западная часть Центрально-Азиатского горного пояса от Тянь-Шаня до Монгольского Алтая и Нань-Шаня. Второй тип связан с зонами горизонтального растяжения коры и характеризуется преобладанием горсто-грабеновых структур и широким распространением вул-



Каменный Тюльпан. Памирский тракт, оз. Голубое. Восточная часть Вахшского хребта. Палеоген-неогеновые осадочные отложения, смятые в систему сундучных складок

канизма. Крайним проявлением этого типа являются рифтовые структуры. В качестве примеров приведены Монголо-Охотская часть Центрально-Азиатского пояса в мезозое и области неоген-четвертичного рифтогенеза в Прибайкалье и Восточной Африке. Выделены также три группы дейтероорогенных структур по типам соотношений с другими структурными элементами.

Работы по проблемам орогенеза нашли воплощение в «Карте тектоники мезозоя Центрально-Азиатского складчатого пояса» в масштабе 1:2 500 000, вышедшей из печати в 1975 г., объяснительной записке к ней, коллективной монографии «Тектоника мезозойского орогенного пояса Центральной Азии» (Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1973) и серии статей.

«Карта тектоники мезозоя...» во многом унаследовала принципы объемного тектонического районирования по «структурно-вещественным признакам минеральных масс», принятые при составлении «Карты тектоники докембрия континентов». В ее подготовке принимали участие сотрудники других лабораторий ИГиГ, а также ГИНа АН СССР, ВСЕГЕИ, ЗапСибНИГНИ, при общей координации в лаборатории геотектоники ИГиГ СО АН СССР К.В. Боголеповым и В.Д. Ермиковым.

Последней крупной интеграционной работой лаборатории геотектоники стал «Атлас тектонических карт и опорных профилей Сибири», в составлении которого помимо сотрудников ИГиГ СО АН СССР приняли участие более 160 специалистов из других академических, а также ведомственных и вузовских организаций.

Легенда «Атласа...» была подготовлена К.В. Боголеповым и Б.М. Чиковым, она в основном унаследовала традиционный для новосибирской школы структурно-вещественный подход. Поскольку главной целью составления «Атласа...» представлялось выявление эволюции структуры осадочной оболочки на территории Сибири, был принят способ поэтажного расчленения осадочной оболочки на мегакомплексы (фациальные ряды геологических комплексов, сформированных в течение одной тектонической эры), с услов-

ным проведением их границ. Выделялись следующие мегакомплексы: архей-нижнепротерозойский, рифейский, вендско-нижнепалеозойский, верхнепалеозойско-среднетриасовый, мезозойский и неотектонический. Принятие единой легенды позволило координировать и методически унифицировать проводившиеся многочисленными организациями работы по тектонической картографии. Одновременно в СНИИГГиМСе под руководством В.С. Суркова была усовершенствована методика геологической интерпретации геофизических данных для более достоверного отражения глубинной структуры.

При работе над «Атласом...» удалось обобщить огромный материал по крупным структурным элементам, расположенным на территории Сибири, создать надежную тектоническую основу для прогнозных исследований. С этим было связано определение масштабов авторских макетов — от 1:1 000 000 до 1:2 500 000. Такие макеты были составлены на все регионы, причем на некоторые — в двух и более вариантах. Многие макеты и объяснительные записки к ним выросли в крупные самостоятельные исследования.

К сожалению, эта большая работа завершилась после ухода К.В. Боголепова из жизни (1 мая 1983 г.). Общие ее контуры были изложены в коллективном докладе, представленном на XXVII сессии Международного геологического конгресса (Москва, 1984).

Благодаря титаническим усилиям Ч.Б. Борукаева «Атлас тектонических карт и опорных профилей Сибири» в масштабе 1:10 000 000 и объяснительная записка к нему были завершены и вышли из печати в 1988 г. Это одна из последних работ лаборатории, выполненная в рамках модифицированной геосинклинальной концепции. При работе над «Атласом...» были затронуты многочисленные остродискуссионные тектонические проблемы как регионального, так и глобального характера, по которым среди авторов не достигнуто полного единства взглядов. Подобная ситуация была характерна для геотектоники того времени в целом, когда конкурировали идеи учения о геосинклиналях и тектоники литосферных плит.

Закончить историю развития научных направлений лаборатории геотектоники ИГиГ СО АН СССР хотелось бы выдержкой из шуточных стихов Ч.Б. Борукаева, написанных в альбом по случаю 60-летия Ю.А. Косыгина.

...Итак, начнем с сопоставлений.
Ну что Вы видели в Москве?
Пыжевский. Мрачный дом в квартале.
Пыль, суета. Cpest trop des tantes!..
Шум перенаселенной залы
И Р. Гафаров — аспирант.
Конечно, даже в этом зданье
Все чтили Ваш научный вес,
Чуть-чуть любви, чуть-чуть признанья...
И все же — просто с.н.с.
Уже в висках мелькала проседь,
Но смело Вы пошли на риск:
Набрав пяток молокососов,
Уехали в Новосибирск.
В ИГиГ Вы развернули знамя,
Создали собственный отдел.
Вы обросли учениками
(А Р. Гафаров облысел).

В Новосибирске, кроме штата,
Вы получили — как-никак —
Свой кабинет, свой особняк.
(Не говоря уж о зарплате!)
Коллоквиум еженедельный
Ввели Вы нам и в плоть, и в кровь,
Чтоб даже форменный бездельник
Всегда к ответу был готов.
Вы заседанья проводили
С задором, так присущим Вам,
Подчас намеками иными
Вгоняя в краску наших дам.
Лаборатория мужала,
Росла и набиралась сил.
Свой вклад, великий или малый,
В ее работу всяк вносил...
Давайте вспомним, как рождались
Идеи, мысли... И решим,
К чему пришли, что с нами сталось,
И с Вами (заодно) самим.
Вдали от суетной толпы
«В глуши забытого селенья»
Росли под гул неодобренья
Формализации столпы.
Вот Соловьёв идет по куче
Вперед, к заветному зерну.
Воронин в выкладках дремучих.
Боровиков вещает: «Ну-у-у...»
(Похоже, что познал он вдруг
И соль Земли, и соль наук.)
И как вершину этой темы
Родили, наконец, системы.
Вы континенты, как изгоя,
Раздели донага. И вот
Сегодня группа мезозоя
Не численно, но все ж растет.
Там Боголепов просвещает
Своих питомцев день за днем.
Как факел, Ермиков пылает.
Башарина кончает том.
У них проблемы — «третий тип»,
И как решение проблем,
Собою своды заменив,
Возник дейтероороген.

А вот сидит вдали от всех
Наш героический картцех.
Скорей с тоскою, чем с азартом,
Уж год без сна кончают «Карту»...
А это наши докембристы:
Хотя и с комплексами, но
Места и титулы солистов —
Завоевавшие давно.

Вот трубка телефона с треском
Доносит голос Матвеевской.
Вот, диссертантами истерзан,
Над папками склонился Берзин.
Башарин, как родной отец,
Студента любит, но гоняет.
Ворчит ехидный Борукаев —
Неоперившийся птенец.
Спокойно, вишь ли, не привык он...
А смелый и пытливый Чиков
Докембрий ищет неустанно
На дне морей и океанов.
Все в нервах, в беготне, в заботах...
Лишь двое портят общий вид:
В Алжире пребывает Вотах,
Парфёнов в Англии сидит.
Вдали сиюминутных тем
Они довольны вся и всем!
А наш торжественный вояж
В столицы с докембрийской картой!
Ведь этак не встречали даж
Наполеона Бонапарта!
Гудит Москва: «Уж больно рьяны
Косыгинские хулиганы!
Но пальца в рот им не клади:
У них еще все впереди!»
Всего не вспомнить, что случилось
За долгие тринадцать лет.
Ведь кроме Института были
И дом, и Университет...
На заседаниях советов
Вы слышали и брань, и лесть.
А сколько было здесь банкетов...
Ну, просто страшно перечесть....
...Мы главной Вашею заслугой
Считаем то, что нас сплотив
И подружив всех нас друг с другом,
Вы создали наш к о л л е к т и в...

ПЕРЕХОД ОТ ТЕКТОНИКИ К ГЕОДИНАМИКЕ

С образованием Объединенного института геологии, геофизики и минералогии СО РАН произошла серьезная структурная перестройка, и лаборатория геотектоники перестала существовать. В 1990 г. в ОИГГМ была организована лаборатория геологической корреляции под руководством академика Н.Л. Добрецова, идеи которого во многом определили направление дальнейших работ в Центральной Азии. Ее сотрудники (Н.Л. Добрецов, Н.А. Берзин, М.М. Буслов, В.Д. Ермиков, Л.В. Кунгурцев) приняли активное участие в обобщении тектоники и геодинамики Центральной Азии. Начиная с 1991 г. проводились полевые работы по российско-японскому соглашению о сотрудничестве между ОИГГМ и Университетом Хоккайдо. Н.Л. Добрецовым, В.А. Симоновым, Л.В. Кунгурцевым, А.Ю. Казанским, Н.В. Сенниковым, В.Д. Ермиковым, Н.Н. Семаковым, О.Т. Обут и др. совместно с

японскими геологами Т. Ватанабе, И. Фудживара, К. Ивата, Т. Итая и др. в Алтае-Саянской области и Восточном Казахстане были собраны и обобщены материалы по геохимии и геохронологическому возрасту океанических и островодужных офиолитов, палеосимаунтов, субдукционных и зонально-метаморфизованных пород, палеонтологическому определению возраста кремнистых пород и палеомагнитной характеристике геодинамических единиц региона.

В 1989–1993 гг. состоялась крупная интеграционная работа в рамках Международного проекта IGCP № 283 «Геодинамическая эволюция Палеоазиатского океана» (руководители – Н.Л. Добрецов, Л.П. Зоненшайн, Р.Г. Колман, Сяо Сючань). Ее главными результатами стали «Tectonic Transect Map across Russia–Mongolia–China (Western part)» масштаба 1:2 500 000, вышедшая в свет в 1995 г., а также спецвыпуск журнала «Геология и геофизика» № 7–8 за 1994 г.

В исследованиях по проекту был проанализирован огромный фактический материал и в 1993 г. проведены специальные полевые работы по Горному Алтаю, в которых участвовали ведущие российские (Н.А. Богданов, Н.Л. Добрецов, В.Е. Хаин и др.) и зарубежные ученые (Р. Колман, К. Бёрк, А.М.Дж. Шенгёр, Б. Уиндли, О. Томуртогоо, Т. Ватанабе, Хе Гоци и др.), подтвердившие выделение на Горном Алтае субдукционно-аккреционных структур, образованных в результате эволюции Палеоазиатского океана. Не возникло больших разногласий и в вопросах выделения разнотипных офиолитов, палеосимаунтов, островных дуг, аккреционных призм и преддуговых прогибов, т. е. тех геодинамических единиц, которые являются аналогами современных морфоструктур Тихого океана и его западной островодужной окраины. Итогом дискуссий и дальнейшего изучения геохимических особенностей и геохронологического возраста пород Курайской зоны явилось соз-

Международная геологическая экскурсия в Восточном Саяне.
Боб Колман (США) и Н.Л. Добрецов (Россия)

дание модели эволюции кембрийского аккреционного клина как результат коллизии палеоокеанического острова с островной дугой (Watanabe, Buslov, Kotabashi, 1993; Буслов, Ватанабе, 1996).

Сотрудниками института на территории Южной Сибири, Казахстана и Монголии были выделены (Berzin, Dobretsov, 1993; Берзин и др., 1994) несколько разновозрастных аккреционно-коллизионных зон, образованных в течение венда—раннего карбона последовательным причленением к Сибирскому континенту островных дуг, микроконтинентов и океанических поднятий. Коллизия перечисленных структур друг с другом и Сибирским континентом на фоне эволюции Палеоазиатского океана явилась основным механизмом структурно-вещественных преобразований земной коры Центральной Азии в палеозое. Мозаично-блоковая структура региона создана преимущественно изометричными в плане крупными телами террейнов и микроконтинентов, заключенных среди островных дуг и аккреционных призм, с участием механизма «косой субдукции», приводящего к крупным горизонтальным смещениям вдоль окраины континента.

По мнению сотрудников Института геологии и минералогии СО РАН, развитие складчатых структур определяется, прежде всего, историей раскрытия и закрытия палеоокеанов, в течение которой большое влияние на геодинамические процессы оказывали мантийные плюмы. На заключительных стадиях формирования континентальной земной коры главную роль играют аккреционно-коллизионные процессы.

В Центральной Азии выявлено широкое проявление аккреционно-коллизионных событий позднекембрийско-ордовикского возраста. Ими сформированы (с запада на восток):

1. Кокчетавский субдукционно-коллизионный пояс, образованный в результате двух этапов: венд-кембрийской субдукции и позднекембрийско-ордовикской субдукции и коллизии Кокчетавского микроконтинента с Ишимской и Степнякской островными дугами (Добрецов и др., 2005, 2006). Аналоги пояса широко распространены в Западном Казахстане и в фундаменте Западно-Сибирской плиты.

2. Покровно-сдвиговый складчатый пояс центральной части Алтае-Саянской складчатой области, сформированный также в два этапа — позднекембрийско-ордовикская субдукция океанической коры под Алтае-Монгольский микроконтинент и позднедевонская коллизия микроконтинента с Сибирским континентом (Буслов, 1988; Буслов и др., 2003; Buslov et al., 2004).

3. Покровно-сдвиговый складчатый пояс Тувы, Бурятии и Северо-Западной Монголии, образованный в результате венд-кембрийской субдукции и позднекембрийско-ордовикской коллизии Тувино-Монгольского микроконтинента с одноименной островной дугой (Владимиров и др., 2000, 2004; Кузьмичев, 2004).

4. Покровно-сдвиговая складчатая структура Прибайкалья (Федоровский и др., 1993, 1995; Федоровский, 1997; Скляров и др., 2001; Fedorovsky et al., 2005), где важную роль сыграла вендско-кембрийская субдукция и позднекембрийско-ордовикская коллизия Байкало-Казахстанского составного континента с активной окраиной Сибирского континента.

С учетом поздних деформаций эти структуры могут быть реконструированы в единый пояс длиной более 6000 км.

За последние 20 лет (Буслов, Ватанабе, 1996; Buslov et al., 1993, 2001; Добрецов и др., 1992, 2004; Safonova et al., 2004) в складчатых поясах Центральной Азии разного возраста наряду с офиолитами обнаружены и детально охарак-

теризованы фрагменты палеоокеанических плато и симаунтов. Традиционно, совместно с другими осадочными породами аккреционных клиньев покровно-надвигового строения, они включались в состав обобщенных стратиграфических подразделений мощностью до многих километров. На основе детальных картографических, геохронологических, геохимических и других работ осуществлен серьезный пересмотр стратиграфии позднепротерозойско-палеозойских вулканогенно-осадочных толщ складчатых областей Центральной Азии с учетом их возможной принадлежности к различным фациям палеосимаунтов (палеоокеаническим плато, поднятиям и островам). Фрагменты палеосимаунтов, как было показано (Добрецов и др., 2004), могут сохраняться достаточно часто в складчатых областях в сопоставимых объемах со структурами островных дуг. Была выявлена и обоснована (Watanabe et al., 1993; Буслов, Ватанабе, 1996; Buslov et al., 2003; Safonova, Buslov, 2008; Safonova, 2008) связь части базальтов из Курайской и Катунской зон Горного Алтая (600 и 550—520 млн лет соответственно), Чарыш-Теректинской зоны северо-западной части Горного Алтая (490—470 млн лет) и Чарской зоны Восточного Казахстана (310—290 млн лет) с процессами океанического внутриплитного (плюмового) и спрединговаго вулканизма.

Исходя из аналогии строения современных конвергентных границ океанических и континентальных плит и линейных складчатых областей, протягивающихся на многие тысячи километров, проводились попытки выделения маркирующих структурных единиц (фронтальных частей островных дуг, офиолитовых сутур, высокобарических метаморфических поясов), которые позволили бы в мозаике блоков Центральной Азии оконтурить палеотектонические зоны и выявить геодинамику и этапы формирования складчатых сооружений региона. Так, Н.А. Берзин и Н.Л. Добрецов (Берзин и др., 1994; Berzin, Dobretsov, 1994; Гордиенко, 2006), как указано выше, выделили несколько разновозрастных аккреционно-коллизионных зон, образованных в течение венда—раннего карбона последовательным присоединением к Сибирскому континенту островных дуг, микроконтинентов и океанических

Международная геологическая экскурсия в Китае.
Слева направо: Е.В. Скляров, Н.Л. Добрецов, Л.В. Добрецова, М.М. Буслов

поднятий. Согласно модели Дж. Шенгёра и соавторов (Sengor et al., 1993, 1996; Шенгёр и др., 1994), в эволюции Палеоазиатского океана существовала единая венд-палеозойская субдукционная зона, над которой сформировались дуги Кипчак и Тувино-Монгольская. В течение палеозоя в результате дрейфа и вращения Сибирского и Восточно-Европейского континентов произошли деформации дуги, выраженные в формировании изгибов и крупноамплитудных сдвигов, которые наиболее полно проявились при формировании алтаид, слагающих большую часть Центральной Азии.

В работах (Berzin, Dobretsov, 1993; Берзин и др., 1994; Буслов, 1998; Dobretsov et al., 2003; Buslov et al., 2003, 2004; Добрецов, Буслов, 2007) подробно рассмотрена история формирования Палеоазиатского океана в неопротерозое—раннем ордовике. Показано, что его раскрытие произошло в период 970—850 млн лет и фиксируется возрастом базитовых даек, расположенных внутри блоков Родинии, а также возрастом древнейших офиолитов. Затем в периоды 850—750 и 750—700 млн лет литосфера Палеоазиатского океана субдуцировала под Сибирской континент. Эти периоды коррелируют с этапами раскрытия Северной и Южной Пацифики. Раскрытие океана Япетус между Лаврентией и Балтикой в период 650—620 млн лет считается финальной стадией раскола Родинии, а период 620—550 млн лет — стадией максимального раскрытия Палеоазиатского океана и формирования протяженных островодужных систем Центральной Азии, в том числе в обрамлении Сибирского континента.

На огромной территории Центральной Азии от Западного Казахстана до Байкала в позднем кембрии—ордовике произошли крупные аккреционно-коллизионные события, которые проявились в сходной геодинамической обстановке с участием микроконтинетов гондванской группы [Добрецов, Буслов, 2007]. Совпадение по времени этих событий с открытием Уральского и Монголо-Охотского (Туркестанского) океанов позволяет рассматривать их как результат крупной перестройки в эволюции Земли, возможно, связанной с увеличением мантийного воздействия на литосферу. Следует предполагать, что после раскола Родинии 970—850 млн лет назад и крупных событий 760—700 млн лет проявился очередной импульс плюмового магматизма в конце кембрия—начале ордовика (500—480 млн лет), который привел к раскрытию новых океанов и ускорил аккрецию гондванских блоков к островной дуге с формированием протяженного (более чем 6000 км) Казахстанско-Байкальского континента.

Начиная с 1993 г. по инициативе академика Н.Л. Добрецова и профессора Я. Клеркса реализован совместный российско-бельгийский проект по кайнозойской тектонике с привлечением исследователей из других стран Европы, включая Нидерланды (г. Амстердам), Италию (г. Турин) и Англию (г. Лиидс). Объектом совместных исследований явилась модель кайнозойской внутриплитной тектоники и ее влияние на формирование континентальных осадочных бассейнов и их эволюцию.

Интерес к теме связан, прежде всего, с происхождением крупных вулканически и сейсмически активных рифтов, содержащих глубокие озера, такие как Байкальский рифт в Сибири и Таньганьика и Малави в Восточной Африке. Структура озера Телецкого на Алтае послужила примером ранней стадии развития таких рифтов. В рамках указанных совместных исследований были синтезированы и сопоставлены данные по Восточно-Африканским и Байкальскому рифтам, а также начаты новые интенсивные исследования в нескольких направлениях.

Показано, что Центрально-Азиатский кайнозойский ороген представляет собой крупнейшую в мире внутриконтинентальную структуру, которая протягивается более чем на 4000 км на север от зоны континентальной субдукции Индии под Евразию. Она прослеживается от Гималаев, Тибета, Памира через Тянь-Шань, Алтай, Южную Сибирь и Байкальскую рифтовую зону Восточной Сибири (Delvo et al., 1995; Dobretsov et al., 1996; Buslov et al., 2004). В результате сжатия складчатые зоны перерастали в горные системы, а микроконтиненты служили фундаментом для формирования бассейнов (Таримского, Таджикского, Джунгарского и др.).

Деформации, связанные с давлением Памира, постепенно распространялись на север и около 5—3 млн лет назад достигли мощного упора Сибирской платформы. Пик роста горных систем за последние 5—3 млн лет на всей территории Центральной Азии особенно четко выявляется по данным трекового датирования в апатитах и формированию молосс в межгорных бассейнах.

Расширение зоны сжатия и горообразования происходило последовательно по принципу «домино»: 1) вращение против часовой стрелки Ферганской микроплиты, опускание Таримской рамповой структуры; 2) поднятие Южного Тянь-Шаня, затем Северного Тянь-Шаня; 3) формирование Джунгарской плиты (рамповой структуры), ее поддвигание под Алтай; 4) поднятие Алтая, Хангая, Юго-Западного Прибайкалья, оформление Байкальской сдвигово-рифтовой зоны (Dobretsov et al., 1996).

В позднем кайнозое деформации проявились к северо-востоку от Тянь-Шаня и сконцентрировались в трех зонах между Джунгарской и Тувино-Монгольской плитами (микроконтинентами): 1) Зайсанской и на ее юго-восточном продолжении в Джунгарии; 2) между Монгольским Алтаем и Хангайско-Северомонгольским поднятием и 3) между Северо-Монгольским и Кузнецко-Саянским поднятиями.

На Алтае наиболее контрастные кайнозойские движения и деформации проявились вблизи границы с Монголией, где выросли высокие горы и обособились Чуйская, Курайская, Тархатинская, Бертекская, Джулукульская и ряд более мелких впадин. В плейстоцене деформации распространились на более северные районы Алтая, где они реализовались в образовании небольших приразломных впадин или субширотных тектонических ступеней, выраженных в позднемеловой—палеогеновой поверхности выравнивания. Контрастность движений к северу убывала. На севере и северо-западе Алтая, на границе с Бийско-Барнаульской впадиной Западной Сибири формировались пологие дугообразные структуры, напоминающие ограничения сводовых поднятий. Однако и здесь устанавливается субширотная зона разлома, по которой палеозойские образования Алтайского блока взброшены на олигоцен-четвертичные отложения Бийско-Барнаульской впадины с амплитудой до 700 м.

Длительное развитие кайнозойской структуры Алтая привело, в конечном счете, к образованию различных по морфологии впадин и разделяющих их хребтов. В результате дробления территории на более мелкие блоки и продолжающегося их движения динамическая обстановка в некоторых впадинах могла со временем меняться. На одних отрезках неотектонической истории они могли формироваться как структуры сжатия (рампы или полурампы), на других — как структуры сдвигового растяжения (грабены, структуры типа пул-апарт) или как сдвиговые зоны без заметного выражения их в рельефе. Некоторые блоки в результате взаимодействия друг с другом, вероятно,

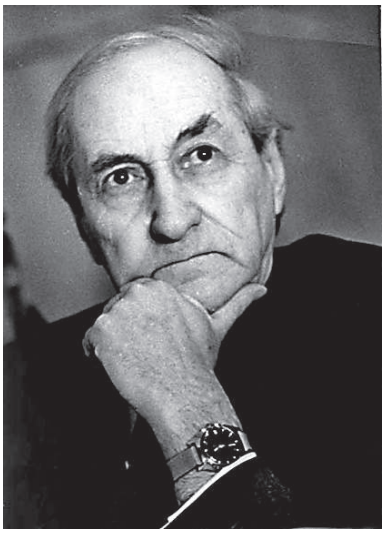
испытывали и повороты. Об этом свидетельствуют данные, полученные при геологическом и палеомагнитном изучении неоген-четвертичных отложений Чуйской впадины.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕКТОНИКА

Исследования в области экспериментальной тектоники стали проводиться в Институте геологии и геофизики СО АН СССР не случайно. Первые в СССР эксперименты по изучению деформационных свойств горных пород и воспроизведению тектонических структур на естественных горных породах выполнены по инициативе Н.С. Шатского в 1948 году Ю.А. Косыгиным, И.В. Лучицким и Ю.А. Розановым в Москве в Геологическом институте АН СССР. Опыты были проведены по простейшей методике с использованием стальных матриц. В 1950 г. Ю.А. Косыгин и И.В. Лучицкий переключились на другие виды исследований. Однако на рубеже 50—60-х годов прошлого века они решили возобновить экспериментальные исследования в тектонике в связи с организацией Института геологии и геофизики в составе СО АН СССР.

Необходимо отметить, что в методическом отношении главной проблемой в экспериментальной тектонике является выполнение условий подобия. Все тектонические опыты делятся на две группы по величине коэффициентов подобия. К первой группе относятся эксперименты, коэффициенты подобия для которых не равны единице. Это означает, что в опытах используются не естественные горные породы, а эквивалентные материалы. Для определения конкретных значений коэффициентов подобия исследователь должен знать уравнения, описывающие природный процесс образования структурных форм, механические свойства горных пород и условия протекания данного процесса (давление, температура, скорость деформации, время деформации и т. д.). Как правило, все эти параметры не известны достаточно точно.

В экспериментах второй группы исследуются не эквивалентные материалы, а естественные горные породы при тех значениях давления и температуры, которые соответствуют определенным глубинам в недрах Земли. В таких экспериментах известны все условия процесса деформирования естественных горных пород, кроме размеров, скорости и длительности. Размеры испытуемых образцов из-за технических и экономических причин невелики (первые сантиметры). Коэффициенты подобия в таких опытах по некоторым параметрам равны единице, если иметь в виду изучение природных малых структурных форм. В то же время эти опыты можно рассматривать как нормальные физические эксперименты, в которых изучаются механические и структурные свойства горных пород. Эксперименты второй группы важны для выяснения механизмов образования различных структурных форм.



Чл.-кор. АН СССР
И.В. Лучицкий

По мнению Н.Л. Добрецова, это были очень упрощенные представления о подобии. Сейчас создана более совершенная теория и определенные критерии механи-

ческого и теплового подобия и более сложные комбинированные направления, например, термохимическое подобие (см. ниже, а также Добрецов, Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А., 2001).

Имея опыт изучения деформационных свойств естественных горных пород при повышенных давлениях и понимая важность таких исследований, Ю.А. Косыгин и И.В. Лучицкий отдали предпочтение экспериментам с естественными горными породами. В начале 1961 г. в лаборатории геотектоники была создана группа экспериментальной тектоники, в которую вошли И.А. Белицкий и В.И. Громин. Первые тектонические эксперименты выполнялись по упомянутой выше методике. В те годы в США аналогичные опыты проводились на более совершенной аппаратуре в ведущей в мире лаборатории, возглавляемой известным экспериментатором Д. Григгсом. Ю.А. Косыгину удалось посетить данную лабораторию и ознакомиться с ее работой. Мы планировали в дальнейшем превзойти уровень американской группы под руководством Д. Григгса, используя благоприятные для научных исследований условия Новосибирского научного центра.

В 1962 г. экспериментальная группа была преобразована в лабораторию экспериментальной тектоники, которую возглавил И.В. Лучицкий, переехавший из Красноярска в Новосибирск. Наладились тесные связи с сотрудниками Института теплофизики СО АН СССР. В лабораторию был принят Г.Д. Ушаков, высококлассный специалист по изготовлению и эксплуатации аппаратов высокого давления. Помимо использования опыта новосибирских организаций, мы знакомились с работой ведущих лабораторий Москвы и Ленинграда, занимавшихся исследованиями в области физики и техники высоких давлений и температур.

В итоге были созданы уникальные аппараты высокого давления. В одном из них давление на испытуемый образец передавалось через пирофиллит, максимальное давление в камере достигало 20 000 кг/см^2, а температура повышалась до 500 °С. В другой установке давление в камере создавалось жидкостью и максимально достигало 12 000 кг/см^2 при температуре до 500 °С. Устройства позволяли вести непрерывную регистрацию компонент деформации образца и изменений скорости ультразвуковой волны. По техническим параметрам обе установки превосходили аппаратуру лаборатории Д. Григгса.

В наших экспериментах использовались слоистые образцы. Слои были представлены различными горными породами. В процессе деформирования в образцах получались складки, будины, зеркала скольжения, кливаж, полосы излома, инъективные и дизъюнктивные формы, не отличавшиеся от аналогичных природных объектов. При этом нам были известны величины давления, температуры, скорости деформации, тензор напряжений. Фиксировалась зависимость деформаций образца от напряжения. Были получены новые данные по деформационным свойствам различных горных пород и минералов (в том числе рудных) в широком диапазоне термодинамических условий. Изучено влияние давления на преобразования некоторых горных пород и минералов. В частности, исследовались процессы превращения глины в аргиллит и кальцита в арагонит.

Полученный большой экспериментальный материал позволил дать новые объяснения механизмов образования пликативных, инъективных и дизъюнктивных форм, что явилось основой для корректировки ряда положений, изложенных как в отечественных, так и в зарубежных руководствах по структурной геологии. В частности, имеются в виду правило определения на-

В.И. Громин на фоне установки высокого давления (ок. 1966 г.)

правления смещения горных масс по зеркалу скольжения (правило Гофера), правило определения фаз складкообразования по дисгармоничной складчатости и т. д.

На основе анализа результатов экспериментов и наблюдений природных объектов показаны возможности выполнения палеореологических реконструкций. Предложен новый тип палинспастических построений — структурные реконструкции по будинажу. Указанные методы использованы в исследованиях тектонических форм Восточного Забайкалья.

Получены экспериментальные кривые «напряжение—деформация» для различных горных пород и руд при давлениях от 500 до 10 000 кг/см^2 и температурах от 25 до 500 °С. Данные кривые могут быть использованы для получения уравнений, математически описывающих процессы деформации горных пород. Сейчас эти работы развиваются в Институте физики прочности и материаловедения в Томске.

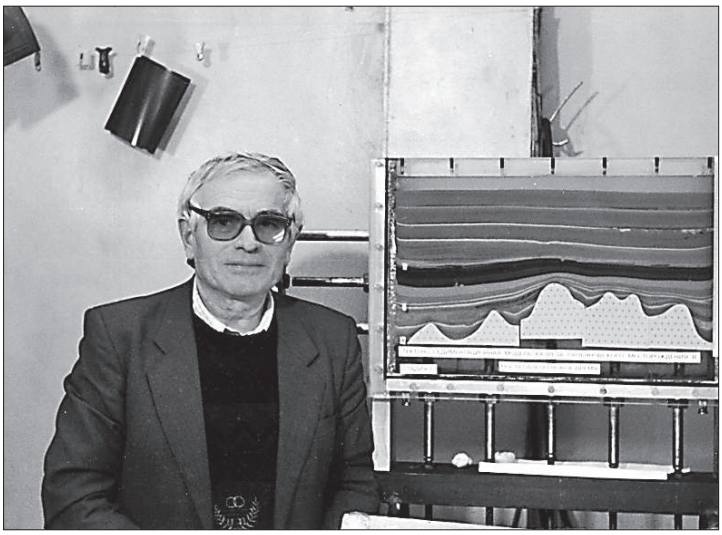
Выявлены существенные изменения коэффициентов бокового распора для различных горных пород и руд, что объясняет образование ряда геологических тел (в том числе рудных) как относительно холодных протрузий (инъективных образований). В частности, показана реальность такого механизма образования для некоторых рудных тел норильского типа.

Результаты проведенных экспериментальных исследований имели в то время важное значение для детальной геологической съемки и поиска залежей полезных ископаемых.

С 1966 г. в лаборатории стали выполняться тектонические опыты на эквивалентных материалах. Этими исследованиями под руководством И.В. Лучицкого занимались П.М. Бондаренко и О.М. Завгородский. Было выполнено моделирование процесса образования Байкальского свода, Телецкого грабена и Акташской системы разломов на Алтае, а также геологических структур Минусинского прогиба, но метод прямых аналогий, как оказалось впоследствии, работает плохо.

В лаборатории были разработаны новые методы моделирования — экспансионный и магнитный. В первом из них использован расширяющийся при нагреве материал — тонко измельченный вермикулит, во втором — магнитоактивные смеси, содержащие порошковый магнетит. Применение этих методов позволило устранить из экспериментов жесткие упоры и штампы, вызывающие появление нежелательных краевых эффектов. Использовался также оптический метод исследования напряжений в фотоупругих моделях. Данный метод применен для исследования концентрических (кольцевых) структур.

Лаборатория стала главным организатором экспериментально-тектонических исследований в пределах азиатской части СССР. Велико было ее влияние на развитие экспериментальной тектоники и в традиционных геологических центрах европейской части страны. Новые лаборатории создавались в Алма-Ате, Иркутске, Киеве.



П.М. Бондаренко и его модель дислокаций на эквивалентных материалах

По инициативе и под руководством И.В. Лучицкого сотрудники лаборатории провели в Новосибирске два Всесоюзных совещания (в 1968 и 1982 гг.). В феврале 1983 г. при Тектоническом комитете АН СССР была создана секция экспериментальной тектоники и структурной геологии под председательством И.В. Лучицкого.

Исследования, выполненные в лаборатории экспериментальной тектоники, пользовались широкой известностью не только в СССР, но и за рубежом. Происходил обмен публикациями и письмами с экспериментаторами США (D. Griggs, J. Handin, H. Heard), Австралии (M. Paterson), Швеции (H. Ramberg), Англии (J. Ramsay) и других стран. В институт приезжали для ознакомления с проводившимися работами не только специалисты из разных городов СССР, но и иностранные исследователи, в том числе известный экспериментатор Г. Рамберг (Швеция).

С начала 1980-х годов развитие экспериментально-тектонических исследований в ИГиГ СО АН СССР, к сожалению, стало тормозиться. В 1981 г. В.И. Громин вынужден был переехать в другой город. В 1983 г. умер И.В. Лучицкий, а вслед за ним преждевременно ушел из жизни Г.Д. Ушаков. П.М. Бондаренко переориентировали на моделирование структур нефтегазоносных бассейнов и их роли в локализации углеводородов. Научный профиль лаборатории был изменен.

Работы по экспериментальной тектонике (геодинамике) были продолжены на интеграционном уровне лишь в конце 90-х годов XX века — начале XXI века; им предшествовал длинный путь взаимовлияния работ по тектонике и метаморфизму.

ТЕКТОНИКА И МЕТАМОРФИЗМ

Практически одновременно с работой над тектоническими картами под руководством Ю.А. Косыгина проводилась работа по составлению карт метаморфизма в лаборатории В.С. Соболева. «Карта метаморфических фаций СССР» масштаба 1:7 500 000 (1966 г.) стала первой такой в СССР и в мире. Авторами карты были Н.Л. Добрецов, В.В. Ревердатто, В.С. Соболев, Н.В. Собо-

лев, Е.Н. Ушакова, В.В. Хлестов. Принципы составления карты (схема метаморфических фаций) были разработаны под руководством В.С. Соболева, авторами основных частей «Карты» являлись Н.Л. Добрецов и В.В. Хлестов; авторами отдельных частей — В.В. Ревердатто, Н.В. Соболев, Е.Н. Ушакова. Общая научная редакция осуществлена В.С. Соболевым, Н.Л. Добрецовым и В.В. Хлестовым.

Работа над картой проводилась во взаимодействии с лабораторией геотектоники: активно использовались «Карта докембрийской тектоники Сибири» под редакцией Ю.А. Косыгина (1962), консультации с авторами этой карты А.К. Башариным, Н.А. Берзиным, Л.М. Парфёновым. Использовалась «Схематическая карта строения коры Сибири и Дальнего Востока» Э.Э. Фотиади и Г.И. Каратаева (1962), а также опубликованные материалы и карты по отдельным регионам при консультации с авторами этих карт и материалов, прежде всего сотрудниками института В.А. и Ю.А. Кузнецовыми, А.Ф. Белоусовым, А.А. Оболенским. Из специалистов по другим регионам следует отметить активное взаимодействие с В.И. Будановым, Г.Л. Добрецовым, И.А. Ефимовым, В.Г. Королевым, Н.П. Михайловым по Казахстану и Средней Азии. Из всех авторов карты метаморфических фаций геологом и тектонистом (по базовому образованию в Ленинградском горном институте и по опыту предыдущей работы — геологическая съемка в Казахстане) был только Н.Л. Добрецов, поэтому ему пришлось взять на себя значительную часть консультаций и руководство картографическим оформлением авторского макета карты, выполненного М.Л. Шемякиным и В.В. Скорицкой.

На шуточной картинке чл.-кор. РАН Е.В. Склярова изображена команда, которая, сидя на полу, раскладывает «пасьянс метаморфических карт». Действительно, работали в просторной (двухмодульной) комнате лаборатории метаморфизма на большом столе и на полу, поскольку приходилось копировать с разных карт, переносить на единую топооснову масштаба 1:5 000 000, раскрашивать разные варианты, затем после обсуждения сводить все воедино.

В объяснительной записке к «Карте» (Добрецов и др., 1966) рассмотрены не только закономерности распространения фаций регионального метаморфизма на территории СССР (в том числе впервые дан обзор о распространении пород лавсонит-глаукофановой фации, глаукофановых сланцев, жадеитовых пород и эклогитов), но и общие вопросы строения и развития земной коры: соотношение магматизма и метаморфизма, распределение метаморфических фаций по возрасту, особенности метаморфизма щитов (прежде всего роль пород гранулитовой и амфиболитовой фаций метаморфизма, о чем уже говорилось выше) и подвижных поясов.

«Карта метаморфических фаций СССР» вызвала большой резонанс и подтолкнула ее авторов к созданию четырехтомной монографии по фациям метаморфизма, удостоенной в 1976 г. Ленинской премии (см. гл. 5). Проявленный к ней международный интерес привел к формированию рабочей группы во главе с В.С. Соболевым и Х. Звартом из Голландии, преобразованной затем в Подкомиссию Международной комиссии по Геологической карте мира, которая начала подготовку и издание международных метаморфических карт континентов.

Первым шагом по созданию названной Подкомиссии стал Международный симпозиум в Дании в 1966 г., куда Х. Зварт пригласил В.С. Соболева, А. Мияширо (Япония), А. Субраманьяма (Индия), Ж. Корвалана и других петрологов-метаморфистов. От имени всех авторов карты В.С. Соболев сделал заглавный доклад о «Карте метаморфических фаций СССР», Х. Зварт — доклад «Орогенез и серии метаморфических фаций в Европе», А. Мияширо — «Орогенез, региональный метаморфизм и магматизм Японии». Эти и другие аналогичные сообщения были опубликованы в 1967 г. в Трудах Датской геологической службы. На основе сделанных докладов, их обсуждения, опыта «Карты метаморфических фаций СССР» указанными авторами в составе Рабочей группы (Подкомиссии) была оперативно подготовлена и в том же 1967 г. опубликована в официальном бюллетене IUGS легенда для международных карт метаморфизма (Zwart et al., 1967).

Карта метаморфизма Европы масштаба 1:2 500 000 составлялась в 1968—1970 гг. и опубликована в 1973 г. под эгидой ЮНЕСКО. Карта европейской части СССР для карты Европы была составлена под руководством В.С. Соболева с участием Н.Л. Добрецова, Г.Г. Лепезина, В.В. Хлестова и большого коллектива авторов из Ленинграда (К.О. Кратц, В.А. Глебовицкий и др.), Москвы (А.А. Маракушев и др.), Киева (И.С. Усенко и др.), Урала (Минкин и др.), из Кольского филиала АН СССР (В.Г. Загородный и др.) и продемонстрирована на Всесоюзном совещании «Обзорные карты и общие проблемы метаморфизма» в Новосибирске в 1972 г. Карты отдельных регионов (авторские макеты) — по Кольскому полуострову (Завгородный и др., 1970), Украинскому щиту (Усенко и др., 1972), Уралу (Минкин и др., 1969) — были опубликованы

Академик В.С. Соболев

раньше или в то же время. Новым для них являлось выделение трех серий фаций по давлению А, В и С, которые в соответствии с классификацией А. Мияширо (Miyashiro, 1961, 1967) можно назвать андалузит-силлиманитовой, дистен-силлиманитовой и жадеит-глаукофановой, причем эти серии были выделены отдельно для складчатых областей разного возраста и фундамента платформ (щитов). В развитие указанного подхода коллектив авторов из Института геологии и геохронологии докембрия АН СССР подготовил карту «Метаморфические пояса СССР» (Кратц и др., 1971, 1972) и одноименную монографию (1971). В последних работах принимал участие и Н.Л. Добрецов (по Уралу и Тихоокеанскому обрамлению).

Карта метаморфизма Азии была подготовлена несколько позже. Ее макет демонстрировался в Новосибирске в 1972 г. и на заседании Комиссии по Геологической карте мира в 1974 г., но опубликована Карта метаморфизма Азии была только в 1976 г., а монография «Метаморфические комплексы Азии» (отв. ред. Н.Л. Добрецов, Г.Г. Лепезин и др.) — в 1977 г. Отдельные части этой карты были опубликованы раньше: по Японии (Hashimoto et al., 1970), Средней Азии (Добрецов, Бакиров, 1971), Алтае-Саянской области (Лепезин, 1974). Итоги первого этапа составления обзорных карт метаморфизма подведены на Всесоюзном совещании в Новосибирске в 1972 г.

При подготовке перечисленных карт и монографий особое внимание уделялось тектонической позиции и типизации метаморфических комплексов, в частности, характеру фациальных серий для разновозрастных складчатых областей. Например, на карте Европы каледонидам соответствовала кианит-силлиманитовая серия, локально — серии высоких давлений (Норвегия), герцинидам — преимущественно андалузит-силлиманитовые серии (Пиренеи и др.). В киммерийских и альпийских складчатых областях проявлены преимущественно комплексы повышенных давлений (эклогит-глаукофансланцевые — в Альпах, Динаридах, на островах Эгейского моря, в обрамлении Родопского массива и др.). В Алтае-Саянской области, по обобщению Г.Г. Лепезина, преобладали породы фациальной серии низких давлений (андалузит-силлиманитовая) или промежуточной (андалузит-кианит-силлиманитовая). В дальнейшем при более детальном изучении и изотопном датировании выяснилось, что многие комплексы являются полихронными, и каледонскому этапу соответствуют чаще кианит-силлиманитовые (южно-чуйский) или глаукофан-зеленосланцевые комплексы (уймонский, ранне-чарский), а герцинскому — андалузит-силлиманитовый или переходный (комплексы Иртышской зоны, северо-чуйский, чулышманский и др.).

В современной интерпретации эти различия отражают не столько возраст складчатой области, сколько преобладающий тектонический стиль. В регионах с широким проявлением сжатия и крупных надвигов проявлены комплексы высоких давлений (эклогиты Чаган-Узуна, алмаз-эклогитовый северо-кокчетавский, глаукофансланцевый уймонский и ранне-чарский) либо кианит-силлиманитовые зональные комплексы (например, в Енисейском кряже — по интерпретации В.В. Ревердатто, И.И. Лиханова и др.). В метаморфических ядрах (в интерпретации Е.В. Склярова и др.) или горячих сдвиговых зонах (по А.Г. Владимирову и др.) преобладают комплексы низких давлений андалузит-силлиманитовой фациальной серии.

Среди метаморфических зон и комплексов наибольшее внимание привлекли глаукофансланцевые и эклогит-сланцевые пояса, часто ассоциирующие с офиолитовыми покровами и(или) тектоническим меланжем. Еще на

Карте метаморфических фаций СССР было установлено, что они маркируют крупнейшие тектонические сутуры. Позднее показано, что некоторые из этих комплексов содержат минералогические доказательства ультравысоких давлений: в максютовском комплексе на Южном Урале были найдены жадеит + кварц + гранат, а также коэсит, в кокчетавском комплексе — алмаз, коэсит, калиевый диопсид, т. е. они были извлечены с глубины 120—160 км. Список таких находок во всем мире расширяется, но первые находки сделаны специалистами ИГиГ в СССР в 1970—1990 гг. (Добрецов, 1970, 1972; Соболев, Шацкий, 1984, 1989, 1990; и др.)

Решение проблемы пород высоких и ультравысоких давлений и их эксгумации с глубин более 70 км оказалось сложной петролого-тектонической задачей, при изучении которой было налажено широкое международное сотрудничество.

Совместно с нашими зарубежными коллегами проведены исследования в Японии (с участием И. Курода, затем С. Маруяма и Т. Ватанабе), во францисканском комплексе Калифорнии (с Р. Колманом), на Кубе (с Г. Мильяном), в комплексе Аксу на Южном Тянь-Шане (с Сяо Сю-Чань) и Даби в Центральном Китае (с Дж. Лиу). В свою очередь зарубежные исследователи работали на Алтае (Т. Ватанабе, С. Маруяма из Японии, Я. Клеркс и Д. Дельво из Бельгии), на Кокчетавском массиве (С. Маруяма с коллегами, К. Тейниссен из Бельгии, Р. Колман и Г. Эрнст из США), в Чарском поясе Восточного Казахстана (Р. Колман и Дж. Шенгёр). В результате опубликована серия совместных статей в российских и зарубежных журналах.

Первый доклад о глаукофановых сланцах Северной Камчатки и Корякии сделан Н.Л. Добрецовым в 1966 г. на семинаре у А. Мияширо в Токио, а вскоре в журнале «Геология и геофизика» была опубликована совместная статья с И. Куродой «Геологические закономерности глаукофанового метаморфизма в Северо-Западной части Тихоокеанского складчатого обрамления» (1969). Статья о глаукофановых сланцах и эклогитах на Кубе была напечатана в «Докладах АН СССР» в 1975 г. (совместно с Г. Мильяном и М.Л. Соминым), о проблемах францисканского комплекса в Калифорнии — в 1978 г. в журнале «Геология и геофизика» и в 1979 г. — в «Ofioliti». Там же в 1987 г. была опубликована первая сводка по глаукофансланцевым поясам Азии (Н.Л. Добрецов, Р. Колман, Дж.Г. Лиу, С. Маруяма). Эти и другие материалы позднее обобщены в коллективной монографии «Эклогиты и глаукофановые сланцы в складчатых областях» (Новосибирск, 1989, соавт. Н.Л. Добрецов, Н.В. Соболев, В.С. Шацкий и др.). Глаукофансланцевые и эклогит-глаукофансланцевые пояса на территории СССР были охарактеризованы ранее в монографии Н.Л. Добрецова (1974).

Названные работы во многом являлись пионерными. Они дали первую характеристику таких комплексов в СССР и для многих районов Азии, а также указали их структурную позицию, свидетельствующую о тектонической транспортировке (позднее название — «эксгумация») пород с глубин 70—160 км из палеозон субдукции.

В максимальной степени эти проблемы сфокусированы в метаморфическом Кокчетавском поясе, где в 80-х годах были обнаружены алмазы, диагностированные в 1988 г. в шлифах В.С. Шацким (в 1990 г. на эту тему вышла статья Н.В. Соболева и В.С. Шацкого в «Nature»). Кокчетавские породы с алмазами, а также другими минералами-индикаторами глубин около 160–180 км – единственные в своем роде и до сих пор служат предметом острой

дискуссии. Специалисты института (Н.Л. Добрецов, В.С. Шацкий, М.М. Буслов и др.) обосновали модель многоэтапной эксгумации, в которой первый, наиболее важный и высокоскоростной этап эксгумации (до 1 м в год) контролировался наличием смазки расплава в выдвигаемых тонких тектонических пластинах.

Таким образом, исследователи института сыграли выдающуюся роль в обосновании и моделировании двух главных проблем тектоники и метаморфизма:

1) приуроченность разных типов метаморфизма к определенным тектоническим обстановкам и зонам;

2) тектоническая транспортировка (эксгумация) метаморфических комплексов к поверхности.

Как справедливо заключил Е.В. Скляров (2006), много сделавший для нахождения механизмов эксгумации метаморфических комплексов, работами сибирских ученых обоснованы три основных механизма экспонирования (эксгумации) метаморфических комплексов:

1) тектоническая транспортировка в результате возвратного течения и «выдавливания» в аккреционном клине (Н.Л. Добрецов, А.Г. Кирдяшкин, В.С. Шацкий и др.);

2) тектоническая денудация или тектоническое скучивание в результате крупноамплитудных надвигов или пологих срывов (Е.В. Скляров и др. — комплексы ядер кордильерского типа; В.В. Ревердатто, И.И. Лиханов и др. — надвиги и синнадвиговый метаморфизм);

3) диапиризм и всплывание легкого материала в результате инверсии плотности, в том числе специфическая модель «горячих сдвигов» (А.Г. Владимиров и др.).

В шуточной статье члена-корреспондента РАН Е.В. Склярова, подготовленной к юбилейному выпуску журнала «Геология и геофизика» (вместо нее опубликована серьезная статья «Механизмы эксгумации метаморфических комплексов»; Скляров, 2006), было сказано: «...В метаморфическом поле существует "особый огород", копать и возделывать который начал Н.Л. Добрецов, да и до сих пор остается "главным огородником". Метаморфизм и тектоника — многообразная и разноплановая проблема, причудливо переплетающаяся с широким кругом других геологических проблем». И еще: «...Применение термина "эксгумация", используемого в медицинской криминалистике... часто вызывает стойкое неприятие геологических специалистов. Тем не менее и в зарубежной, и в отечественной геологической литературе он получает все более широкое распространение... поскольку для описания сложного процесса погружения пород, образовавшихся на поверхности, с последующим их извлечением в результате тектонических процессов можно использовать только одно слово, и все становится понятно. Практически полная аналогия: сначала закопать, а потом выкопать».

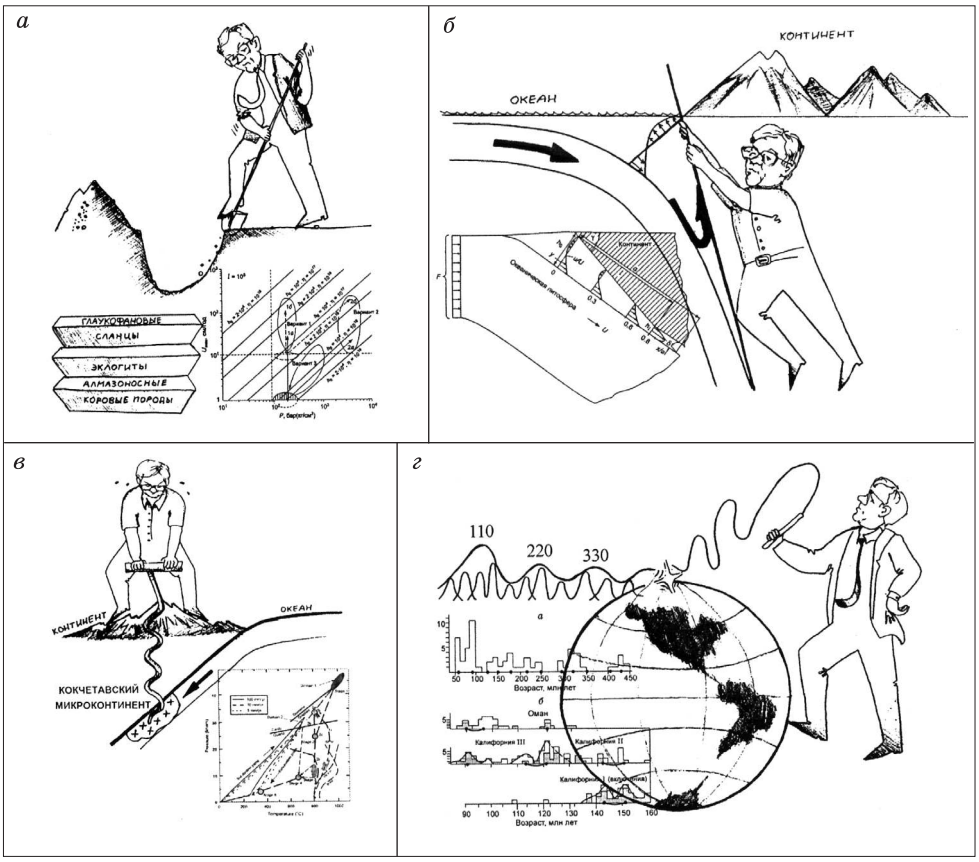
На рисунке «и в шутку, и всерьез» показаны разные стадии этого процесса:

а) формирование пакета тектонических пластин;

б) построение модели аккреционного клина;

в) «выбуривание» наиболее глубинных пород с алмазами;

г) построение периодичности этого процесса (правда, по мнению Н.Л. Добрецова, периодичность геологических процессов больше связана с периодическим проявлением мантийных плюмов).



Аналогичной сложной петролого-тектонической проблемой является проблема офиолитов как реликтов древней океанической коры в складчатых областях. В 70-х годах в постановке и решении проблемы в СССР тон задавали ученые московского ГИНа под руководством А.В. Пейве (Пейве, 1969; Буртман и др., 1974; Книппер, 1975; и др.). Но в конце 70-х—начале 80-х годов активно подключились сибирские ученые: были описаны офиолиты Монголии (Зоненшайн, Кузьмин, 1978; Кузьмин и др., 1982, 1983), Полярного Урала, Западного Саяна, Байкало-Муйского комплекса (в коллективной монографии Н.Л. Добрецова, А.П. Козака, Ю.Г. Молдованцева, Г.Н. Савельевой и др., 1977), Чарской зоны в Восточном Казахстане (Ермолов, Добрецов, Полянский и др., 1979, 1981), Куртушибинского хребта в Западном Саяне (Добрецов, Пономарёва, 1976; Сибилев, 1980). Куртушибинские офиолиты до сих пор являются наиболее полным и типичным разрезом офиолитов. Верхняя пластина сложена полным разрезом океанической коры, включая деформированные дуниты-гарцбургиты, полосчатый комплекс, габбро полосчатое и массивное, комплекс параллельных даек, брекчии океанических базальтов. Средняя пластина сложена разрезом преддугового бассейна, нижняя пластина (фрагментарно) — базальтами и туфами, метаморфизованными в фации глаукофановых сланцев.

Ключевыми моментами для объединения сил и международной кооперации при исследовании офиолитов явились регулярные офиолитовые совещания и экскурсии в рамках двух подкомиссий: Проблемной комиссии

многостороннего сотрудничества академий соцстран под руководством Л.П. Зоненшайна и подкомиссии по Международному проекту «Офиолиты» под руководством Р. Колмана и Н.А. Богданова.

Симпозиумы с полевыми экскурсиями на офиолиты с участием более 50 специалистов прошли в 1978—1983 гг. в Монголии, СССР, Польше, ГДР, Болгарии, Венгрии, Чехословакии, Югославии. Результирующая коллективная монография «Рифейско-нижнепалеозойские офиолиты Северной Евразии» опубликована в 1985 г. под редакцией Н.Л. Добрецова и Л.П. Зоненшайна. В заключительной статье к ней, написанной Н.Л. Добрецовым и Л.П. Зоненшайном, приводятся основные выводы проведенного коллективного исследования.

Среди офиолитов необходимо выделять по крайней мере три типа, формирующиеся в обстановке срединно-океанических хребтов, задуговых бассейнов (вероятно, их большинство среди офиолитов в структуре складчатых поясов) и в океанических островных дугах, включая междуговые бассейны (типа Марианской дуги).

Современная тектоническая позиция офиолитов может быть сведена к следующим типичным случаям:

1) офиолитовые покровы надвинуты на кристаллические массивы и нередко облекают их (офиолиты обрамления Гарганской глыбы в Восточном Саяне, офиолиты Гранулитовых гор в Германии, в Родопах и др.);

2) офиолиты подстилают древние кристаллические массивы (Байкало-Муйские офиолиты, Совьи Горы в Польше, массив Сила в Калабрии, часть офиолитов в Западных Карпатах), т. е. они транспортированы в подошве покровов метаморфических пород и часто сопровождаются зонами меланжа;

3) офиолитовые покровы залегают на более молодых осадочных толщах, как правило, в виде синформ, подстилаемых олистостромами или олистостромово-меланжевыми комплексами (Борусская синформа в Западном Саяне и Баянхонгорская в Монголии, «массив Крака» на Южном Урале, Окинский автохтон в Восточном Саяне, Чарский пояс в Восточном Казахстане); частными случаями являются разрозненные члены офиолитов, целиком погруженные в меланжево-олистостромовый комплекс, или линзы меланжево-олистостромового комплекса в сдвиговых зонах, часто с включениями глаукофановых сланцев, эклогитов, жадеитовых пород (Итмурундинский массив в Прибалхашье, изученный Н.Л. Добрецовым (1962), многие офиолиты Карпат, Турции и др.);

4) крупные покровы офиолитов, во фронтальной части подстилаемые гранатовыми амфиболитами или глаукофановыми сланцами в опрокинутом положении (Войкаро-Сыньинский покров на Полярном Урале, покров Семайл в Омане, многие покровы Динарид).

Здесь приведены примеры, обнаруженные сибирскими учеными и(или) выявленные в ходе коллективного исследования и обсуждения.

Логическим продолжением офиолитовых проектов, выполнявшихся под руководством Р. Колмана и Н.А. Богданова (1976—1980), Л.П. Зоненшайна и Н.Л. Добрецова (1978—1983), стал международный проект «Геодинамическая эволюция Палеоазиатского океана» (1991—1993) под руководством Р. Колмана, Л.П. Зоненшайна, Н.Л. Добрецова и Сяо Сю-Чаня (см. выше).

Материалы этих и других международных проектов были использованы для развертывания в институте исследований по глубинной геодинамике, основанных на физическом и численном моделировании. Группы по экспериментальному и численному моделированию существовали в институте давно

(лаборатория экспериментальной тектоники И.В. Лучицкого; лаборатория В.Н. Шарапова по моделированию магматических и рудных процессов; лаборатория С.А. Тычкова в Институте геофизики), но систематические исследования начались в конце 80-х — начале 90-х годов.

Во многом этому способствовали переход группы под руководством А.Г. Кирдяшкина из Института теплофизики и «возвращение» в ИГиГ из Бурятии Н.Л. Добрецова. А.Г. Кирдяшкин уже в 1991 г. опубликовал монографию по моделированию геодинамических процессов в мантии под океанами. Оценив монографию и большие творческие возможности коллектива (лаборатории) А.Г. Кирдяшкина, Н.Л. Добрецов предложил сотрудничество, которое развивается уже около 20 лет и в котором участвуют группы (лаборатории) под руководством А.Г. Кирдяшкина, Н.Л. Добрецова, М.М. Буслова, А.И. Чепурова; подключились лаборатория И.Ю. Кулакова, специалисты из Института теплофизики и др. У Н.Л. Добрецова был также большой задел, в частности, система моделей (но на качественном уровне), рассмотренная в монографиях «Введение в глобальную петрологию» (1980) и «Глобальные петрологические процессы» (1981), поэтому работа пошла быстрыми темпами.

Первый этап совместных работ завершился изданием в 1994 г. монографии «Глубинная геодинамика», которая в дополненном виде была опубликована в 1998 г. на английском языке в издательстве «Балкема» (Голландия). Монография стала базой для цикла работ «Глубинная геодинамика», удостоенного в 1997 г. Государственной премии Российской Федерации. Кроме Н.Л. Добрецова и А.Г. Кирдяшкина, эту премию получили члены-корреспонденты Л.П. Зоненшайн (к тому времени уже покойный) и М.И. Кузьмин (ныне академик), а также академики О.А. Богатиков и В.И. Коваленко (ИГЕМ, Москва). Группы под руководством Л.П. Зоненшайна—М.И. Кузьмина и О.А. Богатикова—В.И. Коваленко работали независимо и внесли свой выдающийся вклад в развитие геодинамики, но при этом исследователи хорошо знали друг друга и в основных вопросах были единомышленниками. Таким образом, работа является ярким примером интеграции как по междисциплинарному подходу (сочетание тектоники, петрографии, геохимии и теплофизического моделирования), так и по объединению разных коллективов из разных городов.

Здесь уместно привести высказывания Л.П. Зоненшайна, написанные им в 1991 г. как завещание, когда он уже был смертельно болен (Л.П. Зоненшайн. Очерки, воспоминания. М.: Наука, 1995. С. 309): «Назревает новая революция, она рождает новую науку, которую можно назвать ГЛУБИННОЙ ГЕОДИНАМИКОЙ. Тектоника плит входит в нее лишь составной частью — имеются в виду процессы в нижней мантии и на границе ядро—мантия (многие пионерские работы в этом направлении делались и в нашей стране, и об этом надо помнить).

Глубинная геодинамика определяла, вероятно, такие впечатляющие события, как сбор и распад Пангей. Не случайно, хотя и к сожалению, тектоника плит не открыта на других планетах земной группы, а глубинная геодинамика там действует».

Чуть раньше (20—24 октября 1991 г.), подводя итоги научной деятельности за последние 14 лет, Л.П. Зоненшайн из госпиталя им. Н.Н. Бурденко писал о программе будущих работ, называя четыре главные направления: 1) глубинная геодинамика; 2) палеогеографический атлас СССР; 3) субдукция; 4) глубинная структура земной коры. В отношении глубинной геоди-

намики он говорил: «...Согласно мнениям в мировой науке, мантия подпитывается энергией из ядра, и горячие точки (и соответствующие им сейсмотомографические аномалии с пониженной плотностью), скорее, говорят о процессах в пограничном слое "D_2", происходящих за счет энергии и, может быть, вещества из ядра».

В отношении субдукции: «Спрединг признают все, даже закоренелые фиксисты. С субдукцией у нас в стране парадокс... Два вопроса остаются нерешенными: насколько глубоко проникает субдукция, пересекает ли она границу нижней и верхней мантии, и насколько она может смещаться в пространстве... по отношению к системе горячих точек».

Так получилось, что эти прогнозы и задачи реализуются в нашем институте.

На втором этапе (1998—2009 гг.) коллектив наиболее активно занимался проблемой мантийных плюмов («горячих точек», по Л.П. Зоненшайну) и организовал большой междисциплинарный проект по проблеме субдукции. Мантийные плюмы — это горячие струи, поднимающиеся путем проплавления от границы ядро—мантия и рождающие как гигантские вулканические поля (например, сибирские траппы с медно-никелевыми платиновыми месторождениями), так и алмазоносные кимберлитовые трубки. Развита модель термохимических плюмов, когда в слой «D_2» поступает не только энергия, но и добавка летучих компонентов (H и CH_4, окисляющиеся до H_2O и CO_2), определяющих возникновение плюма и его относительно быстрый (за 1—3 млн лет) подъем за счет плавления в кровле с участием летучих. В разработке этой модели активное участие принял А.А. Кирдяшкин (младший), защитивший в конце 2010 г. по этой теме докторскую диссертацию.

Результаты работ второго этапа вошли в третье издание «Глубинной геодинамики» (2001) и многократно докладывались на международных совещаниях, в том числе на специальной секции Международного геологического

Команда акванавтов и автономный подводный аппарат «Мир» на НИС «Дмитрий Менделеев». Работа в зоне спрединга Срединно-Атлантического хребта. В первом ряду академики М.И. Кузьмин (второй слева) и Н.Л. Добрецов (крайний справа)

конгресса во Флоренции в 2004 г., на международных симпозиумах в Новосибирске в 2007 и 2009 гг., опубликованы в журналах «Геология и геофизика», «Lithos», «Ore Geology Review» и др. К работам все шире подключаются геологи, петрологи и экспериментаторы, а геодинамическое направление, особенно по мантийным плюмам, стало одним из ведущих в Институте геологии и минералогии.

В большой мере этому способствовало проведение на протяжении почти 20 лет семинара по геодинамике, который с 2008 г. стал межинститутским (руководители — академики Н.Л. Добрецов и М.И. Эпов). На семинаре выступают сотрудники ИГМ и ИНГГ, представители из Иркутска, Томска, Якутска, Улан-Удэ, Владивостока, Москвы, Санкт-Петербурга, зарубежные гости. В частности, цикл лекций прочитал академик Г.С. Голицин, с докладами выступали академик А.О. Глико, лидеры по мантийно-плюмовому направлению Р. Эрнст, С. Маруяма, Т. Ватанабе. Семинар был и остается главным инструментом координации по проблеме «геодинамика». В рамках этого приоритетного направления ведутся исследования по базовым проектам в пяти институтах СО РАН и по интеграционным проектам — в 10 институтах.

В предисловии к первому и третьему изданиям книги «Глубинная геодинамика» отмечается близость основных положений в работах нашего коллектива и Л.П. Зоненшайна—М.И. Кузьмина, которые могут быть сведены к следующим тезисам.

1. Геологические, геохимические и экспериментальные данные подтверждают модель двухслойной мантийной конвекции в комбинации с двухэтапными мантийными плюмами.

2. Тектоника плит ограничивается верхними оболочками Земли и связана с конвективными течениями в астеносфере с определяющим влиянием процессов субдукции, которые коррелируют с нисходящими потоками в нижней мантии.

3. Тектоника плюмов (горячих точек и полей) отражает процессы в нижней мантии и на границе ядра и нижней мантии, где рождаются мантийные плюмы, которые могут трансформироваться на границе верхняя—нижняя мантия.

4. Для мантийных плюмов наиболее вероятна термохимическая модель, которая определяет быстрый подъем к поверхности (менее 5 млн лет, или около 1 м в год) и условия длительного (более 90 млн лет) стабильного существования плюмов (тезисы 3 и 4 уточнены по сравнению с указанными предисловиями).

Следует упомянуть также работы по моделированию процессов рифтообразования, в частности, динамики Байкальского рифта (Polanski, 2001), осадочных бассейнов типа пул-апарт (Полянский, Добрецов, 2001), процессов осадконакопления в рифтах в двумерном приближении (Ревердатто, Шеплев, Полянский, 1995, 2003), о которых подробнее говорится в гл. 5, а также интеграционный проект по использованию ледяного покрова Байкала как модельной среды для изучения тектонических процессов в земной коре. Эту идею сформулировал Н.Л. Добрецов, но основными исполнителями стали специалисты из институтов Физики прочности и материаловедения (Томск) и Земной коры (Иркутск). Результаты уже частично опубликованы (Псахье и др., 2007; Psachie et al., 2009) и сформулированы выводы о том, что механизмы деформации ледового покрова могут быть скоррелированы с такими геодинамическими процессами, как спрединг, коллизия, крупные сдвиги, пул-

апарт, а стресс, созданный такими процессами, релаксирует с образованием ансамбля трещин и льдотрясениями, во многом аналогичными землетрясениям.

Таков краткий обзор развития тектонических и геодинамических исследований в институте, которые начались с формирования лаборатории геотектоники под руководством Ю.А. Косыгина, создания новых тектонических карт в этой лаборатории и региональных тектоно-метаморфических карт в лаборатории метаморфизма (В.С. Соболев и др.), а завершились образованием разветвленной сети лабораторий, ведущих геодинамические исследования, включая физическое моделирование (Н.Л. Добрецов и др.).