8.2. КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ШКОЛА Э.Э. ФОТИАДИ

В этом разделе освещены направления и результаты, инициированные членом-корреспондентом АН СССР Э.Э. Фотиади и выполнявшиеся в большей мере под его руководством.

ИЗУЧЕНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ И ДИНАМИКИ ЛИТОСФЕРЫ СИБИРИ МЕТОДАМИ ГРАВИМЕТРИИ И МАГНИТОМЕТРИИ

А.В. Ладынин, А.Д. Дучков

Создавая в 1957 г. Институт геологии и геофизики СО АН СССР, академик А.А. Трофимук в соответствии со своим видением задач и перспектив геофизических исследований в Сибири пригласил для организации в институте отделения геофизики видного специалиста по геофизическому изучению фундамента Русской платформы доктора геолого-минералогических наук Э.Э. Фотиади.

До этого Эпаминонд Эпаминондович Фотиади был одним из руководителей геофизических работ в Волго-Уральской области. Он выполнил в 1947–1957 гг. капитальное исследование строения фундамента Русской платформы по геофизическим данным и глубокого бурения с целью обоснования прогноза размещения и направления поисков месторождений нефти. В 1956 г. результаты работ представлены им в качестве докторской диссертации, которая была опубликована в 1958 г. Основными геофизическими методами в исследовании являлись гравиметрия и магниторазведка.

Следуя опыту организации региональных работ на Русской платформе, Э.Э. Фотиади поставил задачу установить, прежде всего, состояние геофизической изученности территории Сибири и Дальнего Востока, состав и квалификацию персонала геофизических организаций, перспективные направления геофизических исследований в разных регионах Сибири. Полученные результаты были собраны в коллективной монографии «Геологические результаты геофизических исследований в Сибири и на Дальнем Востоке», составленной под руководством Э.Э. Фотиади в 1962 г. и опубликованной в 1967 г. В этой работе участвовали более 70 сотрудников научных и производственных организаций Сибири и Дальнего Востока СССР. Она стала первой сводкой, характеризующей состояние геофизической изученности обширной территории востока страны, позволившей выбрать направления и сформулировать задачи геофизических исследований на этой территории. Вместе с тем были получены важные, хотя и обобщенные представления о тектоническом строении региона, определившие значение исследований глубинного строения земной коры Сибири и Дальнего Востока СССР. Эти результаты позволили наметить ближайшие задачи отделения геофизики:

• тектоническое районирование территории Сибири и Дальнего Востока для обоснования прогноза распределения и направления поисков полезных ископаемых;

- развитие математических методов в геологии и геофизике для повышения однозначности, надежности и информативности геолого-геофизических исследований;
- изучение глубинного строения земной коры и верхней мантии региона для выявления связи приповерхностных структур земной коры с глубинными структурами и ответственными за них глубинными геодинамическими процессами.

В дальнейшем добавились: исследования изостазии и современной динамики литосферы; динамика мантийных процессов в формировании структур литосферы; вариации физических полей — гравитационного и магнитного; распределение теплового поля в литосфере Сибири; палеомагнитные исследования мезо-кайнозойских осадочных бассейнов, о чем будет сказано отдельно.

Коллектив научных сотрудников Э.Э. Фотиади формировал в соответствии с поставленными задачами. Базовым для отделения геофизики стал геофизический кабинет Института геологии ЗСФ АН СССР, который в 1957 г. был в полном составе переведен в Институт геологии и геофизики СО АН СССР. Первыми были организованы лаборатория магниторазведки под руководством приглашенного из Уральского филиала АН СССР к.ф.-м.н. Владислава Антоновича Бугайло (Наум Иосифович Гельфанд, Валентин Андреевич Ларионов, Борис Дмитриевич Миков, Олег Аркадьевич Соловьёв, Николай Феликсович Кротевич, Михаил Григорьевич Сербуленко) и группа региональных обобщений под руководством специалиста по интерпретации магнитных аномалий к.г.-м.н. Леонида Яковлевича Проводникова (Геннадий Фёдорович Кузнецов, Дина Викентьевна Пучкова, Геннадий Георгиевич Пучков).

В лаборатории магниторазведки разрабатывались методы разделения источников магнитных аномалий на рудные и нерудные; количественной интерпретации магнитных аномалий на сложном рельефе местности, свойственном западной части Сибирской платформы (Б.Д. Миков); метод касательных для интерпретации магнитных аномалий (Н.И. Гельфанд); метод повысотных магнитных измерений над рудными телами (В.А. Ларионов); спектральные



Старые друзья: чл.-кор. АН СССР Э.Э. Фотиади и академик А.А. Трофимук. 1957 г.

методы интерпретации магнитных и гравитационных аномалий (О.А. Соловьёв и М.Г. Сербуленко).

В 1960 г., после возвращения В.А. Бугайло в Свердловск, лабораторией до 1963 г. руководил Б.Д. Миков. В 1964 г. она вошла в состав лаборатории физики земной коры во главе с Э.Э. Фотиади. В составе этой лаборатории уже были группы Л.Я. Проводникова, Германа Ивановича Каратаева (интерпретация гравитационных аномалий), Фёдора Семёновича Моисеенко (строение верхней части земной коры по геолого-геофизическим данным), Ундины Ивановны Моисеенко (петрофизика и геотермика) и Генриэтты Антониновны Поспеловой (палеомагнетизм).

Выяснением основных черт тектонического строения докембрийского фундамента Сибирской платформы и палеозойского фундамента Западно-Сибирской плиты по комплексу геолого-геофизических данных, прежде всего магниторазведки, занималась группа Л.Я. Проводникова. Результаты работ использовались при построении тектонической карты Сибири и Дальнего Востока и были опубликованы Э.Э. Фотиади в статье «Основные черты тектонического строения Сибири и Дальнего Востока в свете данных региональных геологических и геофизических исследований» (Геология и геофизика. 1961. № 10). Важным выводом этой статьи было указание на необходимость изучения глубинного строения и расслоения земной коры и верхней мантии.

Дальнейшие тектонические построения с использованием фактической геофизической информации нашли отражение в статье Э.Э. Фотиади и Ф.С. Моисеенко «Основные черты тектонической структуры Сибири и Дальнего Востока в свете геологических и геофизических данных» (Геология и геофизика. 1964. № 12). В ней было предложено районирование тектонических структур с разделением их на основные, подстилающие и наложенные. Представления о тектонике Сибири, развиваемые в коллективе Э.Э. Фотиади, варьировали в зависимости от получения новых данных и от состава авторов публикаций.

Задачи внедрения в геологию математических методов — математической логики, теории классификаций, формализации геологических понятий и



Учитель и молодежь. Слева направо: А.В. Ладынин, Л.С. Соколова, Э.Э. Фотиади, Г.А. Поспелова

терминов; применения вероятностно-статистических методов обработки геолого-геофизической информации, построения информационной теории геофизических наблюдений, математической теории интерпретации гравитационных и магнитных аномалий с широким использованием современной вычислительной техники — сформулированы Э.Э. Фотиади в статье «Одна из весьма важных задач дальнейшего совершенствования наук о Земле» (Геология и геофизика. 1962. № 7). Реализации этих задач способствовало приглашение на работу в отделение геофизики к.ф.-м.н. Юрия Александровича Воронина из Ленинградского отделения Математического института АН СССР.

Принципы математизации геологии и геофизики обсуждены в статье Э.Э. Фотиади, Ю.А. Воронина и А.Э. Конторовича «Методологические вопросы внедрения математических методов и ЭВМ в практику геологических исследований» (Геология и геофизика. 1965. № 12). Авторы пришли к выводу, что оптимальный подход к внедрению математических методов и ЭВМ в разных областях геологии состоит в комбинировании двух направлений: 1) формального совершенствования теоретических представлений геологии и 2) обработки и интерпретации фактических данных и получения конкретных выводов при условии выполнения минимума формальных требований. Последнее направление имеет прямое отношение к развитию исследований в отделении геофизики ИГиГ СО АН СССР.

Большое значение для геофизических исследований в Сибири имела V Всесоюзная научно-техническая геофизическая конференция, проведенная в июне 1963 г. в новосибирском Академгородке. На ней обсуждались 11 основных проблем. По проблеме «Автоматизация геофизических наблюдений и их интерпретации» отмечены успехи сотрудников отдела геофизики по математизации геологии и созданию алгоритмов и программ интерпретации гравитационных и магнитных аномалий (Ю.А. Воронин, Г.И. Каратаев). На конференции продемонстрировали свои достижения и другие группы исследователей-геофизиков из ИГиГ СО АН СССР.

Изучение строения земной коры Сибири и Дальнего Востока по гравитационным и магнитным аномалиям с опорой на редкую сеть профилей ГСЗ (глубинных сейсмических зондирований) отчетливо подразделялось на три направления:

- 1. Изучение строения фундамента Сибирской платформы на основе интерпретации магнитных аномалий (Л.Я. Проводников, Г.Ф. Кузнецов в сотрудничестве с М.П. Гришиным и В.К. Пятницким из СНИИГГиМСа, К.А. Савинским из ВостСНИИГГиМСа, А.А. Николаевским из КНИИ, Магадан, И.К. Туезовым СНИИГГиМСа, затем СахКНИИ). Первые результаты этих работ опубликованы в статье Э.Э. Фотиади и Г.Ф. Кузнецова «Новые представления о глубинном геологическом строении западной части Сибирской платформы по данным геофизических исследований и перспективы ее нефтегазоносности» (Геология и геофизика. 1964. № 10), а также в статье Г.Ф. Кузнецова «Магнитное поле западной части Сибирской платформы и его геологическое истолкование» в юбилейном сборнике к 60-летию Э.Э. Фотиади «Региональные геофизические исследования в Сибири» (Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1967).
- 2. Изучение строения верхней части земной коры на основе геологической интерпретации гравитационных аномалий, выделенных по выходам на поверхность гранитного слоя земной коры (Ф.С. Моисеенко). Эти исследования относились к складчатым областям юга Сибири; полученные результаты изложены в статье Ф.С. Моисеенко «Строение земной коры южного гор-

ного обрамления Сибири» в юбилейном сборнике к 60-летию Э.Э. Фотиади (1967), а также в других публикациях. Они легли в основу докторской диссертации Ф.С. Моисеенко и вошли в статью Э.Э. Фотиади, Г.И. Каратаева и Ф.С. Моисеенко «Некоторые региональные особенности глубинного строения территории СССР в свете геофизических данных» (Геология и геофизика. 1965. \mathbb{N} 10).

3. Изучение строения земной коры, в первую очередь рельефа границы Мохоровичича, на основе корреляционных соотношений между глубиной границ и гравитационными аномалиями. Первые результаты опубликованы в статье Э.Э. Фотиади и Г.И. Каратаева «Строение земной коры Сибири и Дальнего Востока по данным региональных геофизических исследований» (Геология и геофизика. 1963. № 10). Использованная в этой работе методика интерпретации гравитационных аномалий стала основой докторской диссертации Г.И. Каратаева «Корреляционная схема интерпретации гравитационных и магнитных аномалий» и одноименной монографии (Новосибирск, 1965).

После получения базовой информации о строении земной коры Сибири отделение геофизики расширило сферу своих научных интересов.

По примеру некоторых других геофизических организаций страны лаборатория гравиметрии и магниторазведки (Г.И. Каратаев) в конце 60-х годов организовала Байкальский геодинамический полигон, где проводилось изучение современных движений земной поверхности (Вячеслав Георгиевич Колмогоров), вариаций геомагнитного поля (В.А. Ларионов), неприливных изменений силы тяжести (Г.И. Каратаев, Валерий Иннокентьевич Щеглов). Это была работа, рассчитанная на длительные наблюдения, скорых результатов не ожидалось. Но объект изучения — уникальная Байкальская рифтовая зона — заслуживал таких усилий. Теоретической базой этих исследований стала статья Г.И. Каратаева, В.К. Панкрушина и В.И. Щеглова «Вопросы теории временных возмущений гравитационного и магнитного полей и движений земной поверхности в связи с современными тектоническими процессами в Земле» в юбилейном сборнике Э.Э. Фотиади «Региональные геофизические исследования в Сибири» (1967).

Другая часть лаборатории гравиметрии и магниторазведки (О.А. Соловьёв, М.Г. Сербуленко, Арнольд Владимирович Чёрный, Нина Никандровна Лукьянова, Тамара Леонидовна Захарова) под руководством Г.И. Каратаева и при консультациях В.Н. Страхова (ИФЗ, Москва) занималась методами обработки и интерпретации гравитационных и магнитных аномалий, ориентированными на использование ЭВМ. Были разработаны вычислительные схемы для трансформации гравитационных и магнитных полей, в частности для аналитического продолжения полей в верхнее полупространство и в некоторые области полей нижнего полупространства, где потенциальные поля сохраняют свойства аналитических функций – не содержат особенностей, связанных с угловыми точками аномальных тел (В.Н. Страхов, Г.И. Каратаев). Развиты принципы линейных интегральных преобразований потенциальных полей и их применения для оценки параметров аномальных объектов в земной коре (О.А. Соловьёв). Найдены эффективные способы разделения потенциальных полей и вид операторов оптимального и точного разделения полей близко расположенных тел (М.Г. Сербуленко). Составлены альбомы алгоритмов и программ решения этих задач на ЭВМ (типа М-20).

Группа также занималась практической интерпретацией гравитационных и магнитных аномалий по территории Сибири и разрабатывала методы

и программное обеспечение для наиболее распространенных в практике геофизической разведки задач. Она одна из первых в стране начала работу по применению в геологии и геофизике математических методов и вычислительной техники. Исследования, начатые в 1962 г. по инициативе Э.Э. Фотиади, проводились совместно с лабораторией М.М. Лаврентьева (ИМ СО АН СССР). В 60-е годы ИГиГ СО АН СССР занимал ведущее положение в стране в этой области геофизики. Группой по гравитационным и магнитным аномалиям и их корреляции с положением границ земной коры на профилях ГСЗ впервые в СССР для всей его территории с помощью ЭВМ построены схемы рельефа поверхности «Мохо», поверхности базальтового слоя, мощности гранитного слоя, распределения плотности в верхах мантии.

В 60-х годах в Сибири довольно широко проводились глубинные сейсмические зондирования земной коры на основе методики дифференциальных зондирований, предложенной Н.Н. Пузырёвым и С.В. Крыловым для изучения труднодоступных районов. Задачи и основы методики этих исследований сформулированы в основополагающей статье С.В. Крылова «О природе сейсмических разделов в земной коре» (Юбилейный сборник к 60-летию Э.Э. Фотиади, 1967). Были получены интересные результаты в Западной Сибири и Байкальской рифтовой зоне. Они, в частности, показали, что изостазия литосферы осуществляется не только за счет изменения глубины раздела Мохо, но и путем изменения глубины внутрикоровых границ (Западная Сибирь) и изменений плотности в подкоровом слое мантии (Байкальская рифтовая зона).

С 1962 г. началось изучение современных движений земной коры (СДЗК): разрабатывались методики анализа результатов повторного нивелирования в комплексе с геолого-геофизическими данными, строились карты скоростей современных движений земной коры для Сибирского региона (В.Г. Колмогоров).

Лаборатория Г.И. Каратаева просуществовала до его отъезда в 1968 г. в Минск, а затем была воссоединена с лабораторией физики земной коры Э.Э. Фотиади. В этой лаборатории сформировались несколько групп, руководителями которых были: Ф.С. Моисеенко — геологическая интерпретация гравитационных и магнитных аномалий для изучения тектоники и строения верхней части земной коры складчатых областей юга Сибири; Л.Я. Проводников — интерпретация магнитных аномалий для изучения тектонической структуры платформенных областей Сибири; Г.А. Поспелова — палеомагнитные исследования мезозойских осадочных толщ Западной Сибири (см. далее отдельную статью); У.И. Моисеенко — геотермические исследования, изучение физических свойств горных пород при различных термобарических условиях (см. далее).

Кроме перечисленных, в лабораторию Э.Э. Фотиади входила сейсмологическая группа в составе Николая Демьяновича Жалковского, Георгия Михайловича Цибульчика и др., проводивших сейсмологические наблюдения в Алтае-Саянской области.

В 1965 г. был построен комплекс помещений ионосферной станции в пос. Ключи, которая позже стала называться геофизической обсерваторией. Тогда же были открыты станция земных приливов (Юлия Константиновна Сарычева) и магнитная обсерватория (В.А. Ларионов), которая с 1967 г. вела регулярные наблюдения по программе международной сети.

В начальный период работы в отделении геофизики организовали небольшую группу по наблюдению земных приливов (Ю.К. Сарычева). Был

приобретен лучший по тем временам приливный гравиметр GS-12 «Аскания» (ФРГ), разработаны методы гармонического анализа приливных вариаций силы тяжести вплоть до оценки пространственно-временных вариаций гравиметрического фактора – отношения реальных и теоретических амплитуд приливных волн. Приливная станция отделения геофизики была единственной в Сибири и второй в Азии – после Талгара (Алма-Ата). Ю.К. Сарычева провела несколько циклов непрерывных гравиметрических наблюдений, разработала первое математическое обеспечение для гармонического анализа данных измерений приливных вариаций силы тяжести. С 1976 г. к этой работе подключился Владимир Юрьевич Тимофеев. Станция долгое время была базовой для Сибирского региона и включена в международный каталог приливных станций. Здесь же заложен государственный пункт гравиметрической сети, выполняются регулярные наблюдения абсолютного значения силы тяжести (Г.П. Арнаутов, ИАиЭ СО АН СССР). Еще один пункт гравиметрических наблюдений заложен в конце 80-х годов на с/с Талая (Байкальская рифтовая зона). Здесь проведен 20-летний цикл наклономерных и деформографических наблюдений. Усилиями Альберта Дмитриевича Дучкова и В.Ю. Тимофеева в 1995 г. установлен контакт с Королевской обсерваторией Бельгии — мировым лидером и центром приливных исследований.

Как отмечалось выше, в 60-х годах в отделении геофизики получило развитие геодинамическое направление; был организован Байкальский геодинамический полигон с уникальным набором комплексных исследований. Здесь с 1967 г. разными группами проводились геодезические, гравиметрические и магнитометрические измерения.

Магнитные исследования на Байкальском полигоне сначала выполнялись двумя группами — В.А. Ларионовым и Д.А. Нагорским из магнитной обсерватории «Ключи», В.Г. Черемисиным и Петром Георгиевичем Дядьковым из лаборатории Г.И. Каратаева. С 1989 г. П.Г. Дядьков руководит тектономагнитными исследованиями на Байкальском полигоне — фактически с тех пор сохранилось только это направление. Оно развивает идею Э.Э. Фотиади, Г.И. Каратаева и В.И. Щеглова о связи вариаций магнитного поля в районах интенсивных аномалий с современными тектоническими процессами (Доклады АН СССР. 1966. Т. 171, № 3).

Геодезические измерения по изучению современных движений земной коры на Байкальском полигоне проводились В.Г. Колмогоровым с 1967 г. и прекращены в 1985 г. из-за недостатка финансирования. Их результаты представлены В.Г. и П.П. Колмогоровыми в ряде сообщений на Всесоюзных конференциях по СДЗК и в обобщающей статье «Результаты изучения современных движений земной коры Байкальской рифтовой зоны» (сборник «Геофизические методы в познании земной коры в Сибири» к 70-летию Э.Э. Фотиади), а затем в обобщающей монографии «Современная кинематика земной поверхности юга Сибири» (1990).

С 1971 г. Николаем Петровичем Есиковым в лаборатории физики земной коры выполнены впервые в СССР исследования по обработке и интерпретации данных о СДЗК с позиций теории деформаций методом конечных элементов с использованием симплексных моделей.

Методические вопросы и основные результаты изучения современных движений земной коры, изменений во времени (вариаций) физических полей на Байкальском полигоне и в сопредельных районах Сибири были опубликованы в сборнике «Методические вопросы исследования современных движений земной коры» (Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1975). Обсужде-

ны вопросы методики изучения современных движений земной коры по данным повторного нивелирования и их результаты на Селенгинском и Ангинском профилях Байкальского полигона (В.Г. Колмогоров, Полина Павловна Колмогорова), методика и результаты изучения на Байкальском полигоне вековых вариаций силы тяжести (Александр Васильевич Ладынин), геомагнитного поля (В.А. Ларионов, П.Г. Дядьков). Здесь впервые была поставлена задача и определена технология измерения вековых вариаций гравитационного поля путем абсолютных измерений силы тяжести баллистическим лазерным гравиметром, созданным в Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР (Г.П. Арнаутов, Е.Н. Калиш, А.В. Ладынин, Ю.К. Сарычева, Ю.Ф. Стусь). Другой новацией были разработки Н.П. Есикова в соавторстве со Светланой Иосифовной Кесельман, связанные с оценками деформаций земной поверхности по данным повторного нивелирования и попытками использования полученных данных при поисках предвестников сильных землетрясений. Третьей новацией стала работа А.В. Ладынина и Сергея Анатольевича Тычкова по оценке напряженного состояния земной коры под нагрузкой рельефа и водохранилища (поставлена проблема «возбужденной» сейсмичности в пределах крупных гидротехнических сооружений). В ней сравнивалось напряженное состояние верхней части земной коры в районе водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС и в районе впадины озера Байкал. Показано, что водохранилище мало меняет напряженное состояние земной коры; повышение сотрясаемости в районе Саяно-Шушенской ГЭС возможно только за счет ослабления прочности разломных зон в верхнем 1–2-километровом слое из-за эффекта П. Ребиндера — смачивания их водой как поверхностно-активным веществом.

В группе Ф.С. Моисеенко работали Юрий Анатольевич Павлов, Юрий Георгиевич Бороздин, Виктор Петрович Семакин, А.В. Ладынин, затем в нее был переведен из лаборатории гравиметрии и магниторазведки Н.П. Есиков. Эта группа занималась изучением строения и развития земной коры южного горного обрамления Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты по геолого-геофизическим данным. Позже геологической интерпретацией данных о глубинном строении земной коры занималась Лидия Викторовна Витте. Начало исследованиям положила ее статья «Некоторые вопросы строения и эволюции земной коры древних платформ» в юбилейном сборнике к 70-летию Э.Э. Фотиади «Геофизические методы в познании земной коры в Сибири» (Тр. СНИИГГиМС. Вып. 249).

Изучение структуры и динамики литосферы на основе данных о гравитационном поле и скоростях новейших и современных движений земной коры в конце 60-х годов изменило свои ориентиры. Чисто структурный аспект проблемы (изучение расслоения литосферы, оценка положения по глубине и рельефа границ в литосфере) сменился геодинамическим подходом — анализом соотношений глубинных границ с гравитационным полем, рельефом земной поверхности, новейшей структурой и скоростями современных вертикальных движений земной коры.

Это выразилось в региональных исследованиях изостатического состояния литосферы Сибири. Основополагающими работами были статьи А.В. Ладынина «Гравитационные аномалии в редукции Грааф–Хантера и изостатическое состояние земной коры в Забайкалье» (Геология и геофизика. 1966. № 3); «Изостазия и современная тектоническая активность Прибайкалья и Забайкалья» (Геология и геофизика. 1969. № 2); «Особенности изостатического состояния западной части Алтае-Саянской области в связи

с современными движениями и сейсмичностью» (сб. «Земная кора складчатых областей юга Сибири». Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1969).

Результаты этих исследований обобщены в кандидатской диссертации А.В. Ладынина «Особенности изостазии горных областей юга Сибири и их связь с глубинным строением и новейшей тектоникой» (1970).

В 1977 г. была опубликована статья А.В. Ладынина «Изостатическая характеристика новейших структур Сибири» (Юбилейный сборник к 70-летию Э.Э. Фотиади. Тр. СНИИГГиМС. Вып. 249), которая фактически закрыла проблему изостазии литосферы Сибири. В дальнейшем понятие изостазии рассматривалось в общем контексте динамики литосферы как следствия массопереноса в гравитационном поле.

Более широкий региональный взгляд на эти вопросы представили Э.Э. Фотиади и Г.И. Каратаев в работе «Неотектоника, современные движения земной коры и граница Мохоровичича» (Геология и геофизика. 1969. \mathbb{N}_2). В ней проанализированы соотношения перечисленных в названии характеристик в разных регионах страны — от Байкала до Кавказа и Карпат. Авторы пришли к выводу, что современная структура земной коры определяется унаследованными от новейших движениями — поднятиями положительных морфоструктур земного рельефа и погружением границы Мохо, что обусловлено стремлением земной коры к изостазии. В смежных областях прогибов продолжаются противоположные по знаку движения — опускания прогибов земной поверхности и соответствующее поднятие границы Мохо.

Проводившиеся в 60-х годах в Сибири глубинные сейсмические зондирования земной коры на основе методики дифференциальных зондирований (Н.Н. Пузырёв, С.В. Крылов) привели к выводу, что изостазия литосферы осуществляется не только за счет изменения глубины границы Мохо, но и за счет изменения глубины внутрикоровых границ (Западная Сибирь) и плотности в подкоровом слое мантии (Байкальская рифтовая зона).

Изучение плотностной неоднородности литосферной части верхней мантии в Сибири было выполнено А.В. Ладыниным на основе сравнения толщины земной коры по сейсмическим данным с изостатической моделью. После введения поправок, исключающих внутрикоровые плотностные неоднородности (по сейсмическим данным) в разности глубин Мохо — сейсмической и изостатической — осталось влияние плотностной структуры литосферной мантии.

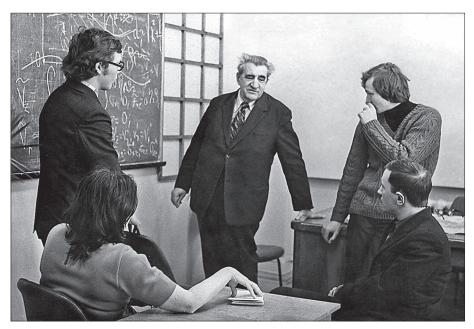
Карта плотностной структуры литосферной мантии Сибири представлена в статьях А.В. Ладынина «К методике изучения плотностной неоднородности верхней мантии» (Геология и геофизика. 1973. № 6); Э.Э. Фотиади «Особенности глубинной структуры земной коры Сибирской платформы, ее горно-складчатого обрамления и сопредельных районов» (Структура фундамента платформенных областей СССР. Объяснительная записка к Тектонической карте территории СССР м-ба 1:5000000, 1974); Э.Э. Фотиади и А.В. Ладынина «Состояние и геологические задачи комплексных геофизических исследований литосферы на территории Сибири и Дальнего Востока СССР» (Геология и геофизика. 1974. № 5). В последней работе в качестве врезки в составленную Э.Э. Фотиади «Схематическую карту строения земной коры и верхней мантии Сибири и Дальнего Востока СССР по данным комплексных геофизических исследований» помещена схема плотностных неоднородностей верхней мантии, составленная А.В. Ладыниным. Параллельной врезкой поставлена схема мощностей эквивалентного слоя (по М.Е. Артемьеву), также характеризующая плотностную структуру верхней мантии. Результаты изучения плотностной неоднородности верхней мантии Сибири и Дальнего Востока СССР приведены в докладе Э.Э. Фотиади и А.В. Ладынина «Комплекс геодинамических исследований литосферы Сибири» на 27-м Международном геологическом конгрессе (Москва, 1984).

Методика изучения плотностной неоднородности литосферного слоя мантии заинтересовала сотрудников ВНИИОкеангеологии, которые решили использовать ее для изучения литосферы Атлантического океана. А.В. Ладынин с Э.М. Литвиновым (ВНИИОкеангеология) дополнили указанную методику способом оценки плотностной неоднородности океанической астеносферы («О способах оценки плотностной неоднородности астеносферы по геофизическим данным». Геология и геофизика. 1983. № 7). Результаты изучения плотностной неоднородности литосферной мантии и астеносферы Атлантического океана были представлены в докладе А.В. Ладынина, Э.М. Литвинова и С.П. Мащенкова на 27-м МГК (Москва, 1984).

С конца 70-х годов в тематике отдела потенциальных полей ИГиГ СО АН СССР ведущее место заняли геодинамические исследования. Их целью было выяснение принципиальных черт и важных региональных особенностей тектонических процессов, формирующих современную структуру литосферы Сибири. Методической основой этих исследования явилось: а) обобщение результатов региональной и глубинной геофизики о строении земной коры, верхней и нижней мантии и фазовой переходной зоны между верхней и нижней мантией; б) установление закономерных связей скоростей современных движений земной поверхности с новейшей структурой (неотектоническими движениями), глубинным строением и сейсмичностью; в) результаты математического и физического моделирования главных геодинамических процессов (верхнемантийной конвекции, нижнемантийных плюмов, астеносферных диапиров, изостатического регулирования в литосфере) по опубликованным данным и некоторые собственные результаты лаборатории физики земной коры (С.А. Тычков).

Геодинамические исследования проводились по трем направлениям:

1. Наблюдательная (инструментальная) геодинамика - изучение скоростей современных движений земной коры по профилям повторного нивелирования в разных регионах Сибири, составление карт скоростей с использованием для слабоизученных областей корреляции скоростей СДЗК с современным рельефом и гравитационным полем (В.Г. Колмогоров, П.П. Колмогорова); кинематический анализ компонент деформации земной поверхности по данным повторного нивелирования (Н.П. Есиков); изучение вертикальных неотектонических движений земной коры в областях прогибов типа Предалтайской равнины по палеомагнитным данным (Зинаида Никитична Гнибиденко); обобщение данных изучения приливных вариаций силы тяжести, наклонов и деформаций по наблюдениям гравиметрами, наклономерами, лазерными и кварцевыми деформографами в нескольких пунктах Сибири (Ю.К. Сарычева, В.Ю. Тимофеев); тектономагнитные исследования предвестников землетрясений в Байкальской рифтовой зоне (В.А. Ларионов, П.Г. Дядьков) и позже в Горном Алтае в области сильного землетрясения 2003 г. (П.Г. Дядьков). К этому направлению примыкают исследования напряженно-деформированного состояния верхней части земной коры Байкальского рифта (С.И. Кесельман), земной коры южного горного обрамления Сибирской платформы по высотам рельефа и гравитационным аномалиям (Т.Л. Захарова, Л.А. Шарловская) и в реологически расслоенной литосфере в



Геодинамический семинар, 1985 г. Слева направо: В.Ю. Тимофеев, Э.Э. Фотиади, С.А. Тычков, А.Н. Василевский

условиях температурно-обусловленных изменений вязкости в литосфере (Валерий Кириллович Кучай, С.А. Тычков, Г.Г. Ерёмин).

- 2. Изучение мантийных процессов формирований современной структуры литосферы на основе качественной интерпретации большого комплекса данных: о положении в литосфере и нижележащей мантии границ раздела по разным физическим свойствам; о структурно-тепловой неоднородности переходной зоны мантии по данным спутниковой гравиметрии (Т.Л. Захарова, А.В. Ладынин); большого числа публикаций по математическому и физическому моделированию процессов тепломассопереноса в мантии и литосфере, включая наши работы (Фотиади, Ладынин, Тычков, 1978; Фотиади, Кучай, Ладынин, 1984; Ладынин, Тычков, 1982; Тычков, 1984; Ладынин, 1986, 1989, 1990, 1993).
- 3. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в литосфере и нижележащей мантии (конвекции, плюмов) на основе данных сейсмической томографии (С.А. Тычков, Иван Юрьевич Кулаков).

После смерти Э.Э. Фотиади (1987 г.) все экспериментальные геодинамические исследования, включая и геотермические, вошли в состав вновь организованной лаборатории естественных геофизических полей, которая успешно функционирует до настоящего времени (с 1989 по 2006 г. под руководством А.Д. Дучкова, в последующем — П.Г. Дядькова). Теоретические геодинамические исследования организовались в лабораторию региональной геодинамики во главе с С.А. Тычковым.

В последние два десятилетия геодинамическое направление стало явно приоритетным, а изучением строения литосферы с использованием данных гравиметрии и магнитометрии продолжает заниматься коллектив исследователей из СНИИГГиМСа под руководством академика В.С. Суркова.

Последние результаты по изучению строения и динамики литосферы, полученные под руководством Э.Э. Фотиади, опубликованы в монографии

«Основные черты структуры и динамики литосферы Сибири по геолого-геофизическим данным» (Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990). Тема вводной гл. 1 «Проблемы геодинамики Сибири и методы геодинамических исследований» (Э.Э. Фотиади, А.В. Ладынин) показывает, что Э.Э. Фотиади склонялся в сторону геодинамических исследований. Дань геотектоническим построениям он отдал в гл. 2 «Крупные черты геологического строения платформ Северной Евразии». Изучению строения земной коры крупных регионов Сибири по сейсмическим данным и аномальным гравитационным и магнитным полям посвящены гл. 3 и 4 (Э.Э. Фотиади, С.А. Тычков, Т.Л. Захарова, Л.А. Шарловская). Далее приводится региональная геодинамическая характеристика литосферы по комплексу геолого-геофизических данных (гл. 5, Т.Л. Захарова, А.В. Ладынин). В последней главе обсуждаются мантийные процессы и их роль в динамике литосферы (А.В. Ладынин).

Из сопоставления теоретических моделей мантийных процессов и фактических геофизических данных о неоднородностях мантии и кинематике литосферы следует, что интенсивное современное воздействие мантийных движений на литосферу Сибири имеет место в Байкало-Монгольском и Верхояно-Колымском регионах. Платформенные области Сибири в новейшее время развиваются под преобладающим воздействием горизонтальных движений литосферных плит; деформации транслируются далеко внутрь от их границ.

ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ

И.Ю. Кулаков

В начале 80-х годов прошлого века пришло осознание того, что изучение региональной геодинамики невозможно проводить без учета глобальных процессов всей Земли. Известно, что в медицине борьба против локального заболевания без учета общего состояния организма чаще всего не приводит к эффективному лечению. Точно так же и при изучении региональных структур ограничиваться местными данными представляется не всегда оптимальным. Глобализация геологии потребовала освоения новой для института тематики, и Э.Э. Фотиади вызвал к себе тогда еще молодого сотрудника С.А. Тычкова и

посоветовал ему заняться изучением и разработкой современных глобальных и региональных подходов геодинамики. При этом он дал ему полную свободу действий для научного творчества и обеспечил всем необходимым для полноценной работы. Сергей Анатольевич с большой теплотой вспоминал годы, посвященные погружению в грандиозные сферы земных процессов, которые он провел в своей маленькой рабочей комнатке. Э.Э. Фотиади регулярно заходил к нему и каждый раз традиционно спрашивал о том, как поживает «наша конвенция». Так с присущим ему юмором он называл мантийную конвекцию и все, что было связано с глобальной геодинамикой.



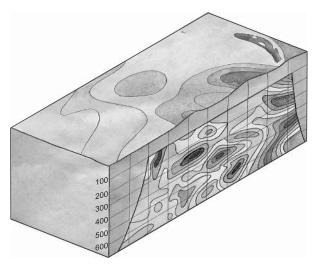
И.Ю. Кулаков

Результатом этого периода явилась монография С.А. Тычкова «Конвекция в мантии и динамика платформенных областей» (1984), в которой он обобщил имеющиеся в мире подходы для изучения глобальных геодинамических процессов и выдвинул собственные идеи по реализации численного моделирования. С.А. Тычков систематически и досконально изучал все статьи, которые появлялись по этой тематике, так как был уверен, что создание нового невозможно без знакомства с существующим заделом. Построение новых геодинамических моделей на базе обобщения существующей в мире информации и собственного моделирования послужило темой его кандидатской, а затем и докторской диссертаций. Постепенно С.А. Тычков стал привлекать новых сотрудников к этой работе, а впоследствии перенял от Э.Э. Фотиади бразды правления лабораторией региональной геодинамики. Совместно с Н.Л. Добрецовым он организовал первый семинар по геодинамике, в котором активно участвовали сотрудники различных институтов СО РАН.

Будучи руководителем, С.А. Тычков проявлял бескорыстную заботу о своих подчиненных. Показательным является тот факт, что при обновлении компьютерной техники в лаборатории он, как правило, оказывался в конце цепочки по передаче техники, что предполагало приоритетные возможности для молодых сотрудников, производивших расчеты. В «голодные» 90-е годы он умудрялся «с миру по нитке» собирать средства, чтобы отправлять молодежь на конференции за рубеж; при этом сам он в то время почти никуда не выезжал.

В 1991 г. группой сотрудников лаборатории под руководством С.А. Тычкова и Бориса Валентиновича Лунёва была выполнена работа по моделированию трехмерной конвекции в сферической Земле. Сегодня трудно представить, что все расчеты по этой работе проводились на ЭВМ ЕС-1066 с оперативной памятью несколько мегабайт. В таких условиях бережно относились к каждому байту. Например, при написании программ старались избегать текстовых комментариев, чтобы максимально сократить объем занимаемого дискового пространства. Отсутствие достаточных компьютерных возможностей компенсировалось высоким уровнем оптимизации на стадии получения теоретических решений. Это позволило реализовать трехмерное моделирование конвективных течений в мантии на сетке, ненамного более редкой, чем в современных расчетах. Более того, был рассчитан возникающий при этом гравитационный эффект, который сопоставлен с наблюдаемым на геоиде, а также оценены соотношения плотность/сейсмическая скорость для различных областей мантии.

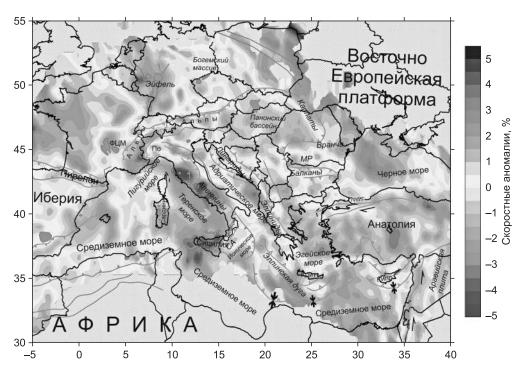
Одновременно совместно с Виктором Васильевичем Червовым и Еленой Владимировной Рычковой проводились работы по созданию новых алгоритмов для численного моделирования эволюции тепловой конвекции в областях с переменной толщиной литосферы. Доскональное знание существующих в мире работ позволяло авторам, с одной стороны, создавать алгоритмы, соответствующие существующим международным стандартам, и, с другой — реализовывать в них некоторые нетрадиционные решения. С помощью этих алгоритмов получен ряд важных фундаментальных результатов, одним из которых является процесс притягивания восходящих струй мантийной конвекции к зонам с утолщенной литосферой (Тычков и др., 1999). Впоследствии этот вывод был подтвержден другими результатами численного и физического моделирования, а также фактическими данными по сейсмической структуре мантии.



Пример томографической модели середины 90-х годов с изображением сейсмической структуры под югом Сибири. За неимением цветных принтеров рисунки вычерчивались вручную и раскрашивались акварельными красками

В начале 90-х годов для подтверждения существующих геодинамических концепций возникла острая необходимость в получении достоверных данных по глубинному строению земных недр. К сожалению, используемые в институте сейсмические подходы не давали информации по мантийным глубинам. Именно тогда Сергей Анатольевич принял непростое решение открыть в рамках лаборатории направление сейсмической томографии, которое в то время приобретало все большую популярность в мире, но не воспринималось многими отечественными коллегами. Развивать это направление с нуля было поручено мне, вчерашнему выпускнику ГГФ НГУ. Сегодня невозможно сосчитать количество подводных камней, с которыми я столкнулся на начальных этапах работы, и «шишек», набитых в дискуссиях с коллегами. Например, на защите кандидатской диссертации один из оппонентов, а также несколько рецензентов были категорически против присвоения мне степени. С высоты сегодняшнего дня алгоритмы 90-х годов кажутся во многом примитивными, а результаты не слишком убедительными. Однако путь, пройденный за эти годы, повторяет тенденции развития сейсмической томографии в мире, которая за последние полтора десятка лет эволюционировала от уровня гадания на кофейной гуще до мощного геофизического инструмента, обеспечивающего надежную количественную информацию о земных недрах.

Одной из проблем сейсмологии является очень неравномерная плотность покрытия Земли сейсмическими станциями, что не позволяло исследовать строение наиболее интересных, но труднодоступных регионов. В конце 90-х годов нами было предложено использовать данные по обратной схеме, когда источники и приемники меняются местами и в рассмотрение берутся времена от землетрясений в изучаемой области, зарегистрированные станциями мировой сети. Благодаря использованию таких данных стало возможным исследовать многие интересные области, где станции либо редки, либо отсутствуют. На основании этой схемы были получены сейсмические модели верхней мантии под Байкальской рифтовой зоной, Памиром и Гиндукушем (Koulakov, Sobolev, 2006), Европой (Koulakov et al., 2009), в зонах субдукции и многих других областях. Эти результаты опубликованы в ведущих



Пример современной томографической модели из работы (Koulakov et al., 2009) с распределением сейсмических аномалий под Европой в верхах мантии (глубина 50 км). Модель имеет ясную связь с основными региональными геологическими структурами Европы, такими как области современного вулканизма, зоны субдукции, трансформные разломы и пр. По пространственному разрешению эта модель превосходит зарубежные аналоги.

международных журналах и оценены зарубежными коллегами. Кроме того, совместно с Натальей Анатольевной Бушенковой была предложена и реализована на практике схема, которая позволяет изучать районы, где нет ни станций, ни землетрясений. Она базируется на использовании времен пробега отраженных от дневной поверхности *PP*- и *SS*-волн. С помощью этой схемы была определена структура верхней мантии под Сибирью, большая часть которой асейсмична (Bushenkova et al., 2002).

В настоящее время исследования по широкому спектру проблем сейсмотомографии и геодинамики продолжаются в лаборатории прямых и обратных задач сейсмики ИНГГ СО РАН. Работы ведутся как по созданию новых подходов томографической инверсии, так и по обработке реальных данных и получению новых результатов по структуре земных недр. Примером является сейсмотомографическая модель Европы (Koulakov et al., 2009), которая четко выявляет связь между глубинными структурами и поверхностной геологией. Лаборатория активно сотрудничает со многими научными центрами мира, которые осуществляют реальные сейсмические эксперименты в наиболее интересных уголках планеты. Одним из основных приоритетов лаборатории является квалифицированная геологическая интерпретация результатов на базе геодинамического моделирования и комплексирования различных геолого-геофизических данных. Эта деятельность возможна благодаря богатому научному заделу, заложенному Э.Э. Фотиади и С.А. Тычковым, которые всегда приветствовали принятие нестандартных решений.

ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ИГИГ СО АН СССР

З.Н. Гнибиденко, А.Ю. Казанский

В конце 50-х годов прошлого века, в период образования Института геологии и геофизики СО АН СССР позиция Эпаминонда Эпаминондовича Фотиади — заместителя директора ИГиГ — состояла в том, чтобы в геофизическом отделе были представлены все основные направления разведочной, региональной и общей геофизики. Сначала были созданы шесть геофизических лабораторий: гравиразведки, магниторазведки, электроразведки, ядерной геофизики, сейсморазведки и сейсмологии. Немного позднее лаборатории гравиразведки и магниторазведки объединились в единую лабораторию физики земной коры под руководством Э.Э. Фотиади, где долгие годы, начиная с 1960 г., существовала группа палеомагнитных исследований. Руководила группой только что приехавшая из Москвы молодая и энергичная Генриетта Антониновна Поспелова – выпускница кафедры геофизики физического факультета МГУ, к тому времени уже защитившая кандидатскую диссертацию по физико-математическим наукам. Сперва группа состояла из двух сотрудников: Г.А. Поспеловой и Галины Яковлевны Ларионовой, позднее в нее вошли Александр Васильевич Анучин - выпускник Новосибирского государственного университета, и лаборант — Зоя Леонидовна Шмырева. С 1970 г. группа расширилась, в нее была принята на должность младшего научного сотрудника Зинаида Никитична Гнибиденко, успешно защитившая под руководством Г.А. Поспеловой кандидатскую диссертацию. Поскольку палеомагнитной тематики до 1960 г. в ИГиГ не было, основной и первоочередной задачей явилась организация лабораторной базы. За короткое время (1965–1970 гг.) была создана современная палеомагнитная лабораторная база всесоюзного значения и получены весьма существенные научные результаты по палеомагнетизму. Работы в этот период велись в трех направлениях:

• разработка аппаратуры и методики палеомагнитных исследований осадочных пород;



Не только наука. Г.А. Поспелова и З.Н. Гнибиденко на полевых работах. 1978 г.

- изучение истории геомагнитного поля в мезозойское и кайнозойское время по результатам палеомагнитных исследований осадочных пород Сибири;
- использование палеомагнитных данных для решения задач стратиграфии, геохронологии и палеогеографии (составление опорного палеомагнитного разреза юрских и меловых отложений Севера Сибири и плиоцен-четвертичных отложений Приобья и Приднестровья, проведение региональной и межрегиональной корреляции толщ, увязка биозон по плиоцен-четвертичным млекопитающим с палеомагнитной шкалой).

В это время кроме серийной (астатические магнитометры Долгинова, магнитометры М-14Ф, магнитометр Фанзелау, рок-генераторы ИОН-1, каппаметр ИМВ-2 и т. д.) и нестандартной аппаратуры, которая заказывалась на Опытном заводе СО АН СССР и других опытных предприятиях, в лабораторных условиях были изготовлены и собраны установки по размагничиванию горных пород в переменных полях и их терморазмагничиванию. Из новой несерийной уникальной аппаратуры следует назвать электромагнит (сделанный по нашему заказу на Опытном заводе), который предназначался для исследования пород в больших (более 10 тыс. эрстед) постоянных полях, и термомагнитометр К.С. Буракова для снятия термомагнитных кривых насыщения.

Параллельно с разработкой аппаратуры проводились весьма значительные работы по усовершенствованию методики палеомагнитных исследований слабомагнитных осадочных работ, по изучению истории магнитного поля Земли в мезозое и кайнозое и практическому использованию палеомагнитных данных для решения различных геологических задач. Палеомагнитная группа работала в тесном контакте с лабораторией мезозоя, которой руководил чл.-кор. АН СССР Владимир Николаевич Сакс, и с сотрудником лаборатории геоморфологии и неотектоники Александром Николаевичем Зудиным — специалистом по геологии и стратиграфии плиоцен-четвертичных отложений. Основные результаты этих исследований публиковались в сборниках, отечественных и зарубежных научных журналах.

Палеомагнитные исследования верхнекайнозойских отложений были начаты с изучения мощных плиоцен-четвертичных толщ Приобского плато на юге Западной Сибири. Ежегодно в летний период проводились экспедиционные работы, включавшие в себя отбор ориентированных штуфов, из которых изготавливались ориентированные образцы-кубики. Спецификой этих работ является изготовление ориентированных образцов-кубиков из супесей, суглинков и глин — из таких пород они делались вручную, хорошо отточенными ножами.

Летом в полевом экспедиционном палеомагнитном отряде, состоящем почти полностью из задорной студенческой молодежи геолого-геофизического факультета НГУ, ключом бурлила веселая полевая жизнь с кострами и песнями по вечерам. Через экспедиционную «палеомагнитную жизнь» с обучением изготовлению идеальных ориентированных образцов-кубиков прошли Николай Петрович Похиленко (сейчас директор Института геологии и минералогии СО РАН), Анатолий Алексеевич Томиленко (сейчас зам. директора ИГМ, зав. лабораторией термобарогеохимии), Николай Михеевич Подгорных (сейчас зав. геологическим музеем того же института). Самые лучшие и совершенные ориентированные кубики получались у А.А. Томиленко.

Постепенно состав группы расширялся: в середине 70-х годов пришли Николай Николаевич Семаков, занимающийся палеомагнитными исследова-

ниями донных осадков окраинных морей Тихого океана, и аспирант Людмила Спиридоновна Куликова, успешно защитившая кандидатскую диссертацию под руководством Г.А. Поспеловой. В конце 70-х в палеомагнитную группу пришел Алексей Юрьевич Казанский.

Работы велись в основном в двух направлениях: изучение тонкой структуры геомагнитного поля кайнозоя (инверсий, палеовековых вариаций, экскурсов) и разработки палеомагнитной стратиграфии неогена и четвертичного периода. За период 1976–1982 гг. проделана большая работа: построены частные палеомагнитные разрезы миоцена Южного и Северного Казахстана, плиоценовых отложений Западно-Сибирской низменности, Казахстана, Предалтайской равнины, юго-востока Европы, начато изучение палеомагнетизма донных осадков южной части Охотского моря. В это время сделано крупное обобщение результатов палеомагнитных исследований по магнитостратиграфии неогеновых и четвертичных отложений Северной Азии и Восточной Европы, что позволило провести межконтинентальную корреляцию отложений и выполнить их датирование в абсолютном летоисчислении (Поспелова и др., 1976; Поспелова, Гнибиденко, 1982).

В конце 1983 г. Г.А. Поспелова уехала в Москву, в связи с чем передала группу З.Н. Гнибиденко. Научные результаты Г.А. Поспеловой за период работы в ИГиГ СО АН СССР носят фундаментальный характер. В области тонкой структуры геомагнитного поля ею получены первые данные о фиксации экскурсов в континентальных осадочных породах и впервые доказана их четкая стратиграфическая приуроченность (Поспелова, 1971). В частности, был открыт экскурс «Каргаполово» (Куликова, Поспелова, 1976) с возрастом 40 тыс. лет (впоследствии «переоткрытый» зарубежными коллегами как «Лашамп»). Установлены периоды вариаций склонения, наклонения и напряженности геомагнитного поля, выполнен анализ авторских и мировых данных по тонкой структуре геомагнитного поля. Эти исследования позволили составить представление о тонкой структуре геомагнитного поля за последние 700 тыс. лет (Фотиади, Поспелова, 1982). В области магнитостратиграфии Г.А. Поспеловой (1976) был впервые установлен знакопеременный характер геомагнитного поля в верхней юре и поставлен вопрос о разрешающей способности палеомагнитных шкал, построенных по линейным магнитным аномалиям. В последующие годы сложная структура палеомагнитной шкалы верхнеюрского интервала и низкая информативность последовательности линейных магнитных аномалий для верхнеюрского интервала полностью подтвердились. За цикл исследований, выполненных в ИГиГ СО АН СССР, Г.А. Поспелова, работая уже в Институте физики Земли АН СССР, в составе коллектива ведущих палеомагнитологов Москвы и Санкт-Петербурга в 2000 г. была удостоена Государственной премии РФ.

С 1983 г. в отделе геофизики ИГиГ СО АН СССР начались систематические, весьма значительные и детальные палеомагнитные исследования кайнозоя в полном его объеме (палеоген, неоген, квартер) в различных структурно-фациальных зонах Западно-Сибирской плиты.

После смерти Э.Э. Фотиади в 1987 г. лаборатория физики земной коры была расформирована, а палеомагнитная группа переведена в лабораторию электромагнитных полей, которой в тот период руководил Юрий Николаевич Антонов. В 1993 г. группа распалась — А.Ю. Казанский перешел в лабораторию региональной геодинамики (зав. лабораторией С.А. Тычков), а З.Н. Гнибиденко и Н.Н. Семаков остались в лаборатории электромагнитных полей.

С приходом нового директора ИГиГ СО АН СССР академика Николая Леонтьевича Добрецова палеомагнитное направление получило второе рождение. Основные научные интересы Н.Л. Добрецова в то время лежали в области геодинамики, и, соответственно, именно это направление в палеомагнитных исследованиях он поддерживал всеми силами. Первым шагом была организация в 1990 г. временного творческого коллектива (ВТК) «Палеомагнетизм» под руководством Сергея Сергеевича Брагина. В него помимо С.С. Брагина вошли А.Ю. Казанский и студенты-дипломники геолого-геофизического факультета НГУ. Основной задачей, стоящей перед ВТК, было получение палеомагнитных определений, пригодных для геодинамических реконструкций террейнов Алтае-Саянской складчатой области в рамках проекта МПГК 283 «Геодинамическая эволюция Палеоазиатского океана». Выбор объектов исследования и постановка конкретных геологических задач осуществлялись Михаилом Михайловичем Бусловым и Владимиром Александровичем Симоновым. За три года работы (1991–1993), благодаря неисчерпаемой энергии М.М. Буслова, был выполнен большой объем полевых и лабораторных исследований и получены палеомагнитные определения по раннепалеозойским террейнам Палеоазиатского океана. Аппаратуры, отвечавшей современным требованиям, в институте тогда еще не было, и все измерения проводились в загородной лаборатории Института физики Земли РАН. Неоценимую поддержку в этом оказали сотрудники ИФЗ Диамар Михайлович Печерский и Алексей Николаевич Диденко (сейчас директор Института тектоники и геофизики ДВО РАН, г. Хабаровск). Результатом проведенных исследований стала совместная с московскими коллегами статья в журнале «Геология и геофизика», содержащая первую сводку палеомагнитных данных по палеозойским террейнам юга Сибири (Печерский и др., 1994).

В 1994 г. Н.Л. Добрецов изыскал средства для покупки минимально необходимого комплекса палеомагнитной аппаратуры (спин-магнитометр JR-4 и экранированная печь) и выделил помещение для их установки. Начались массовые лабораторные эксперименты, появилась возможность подготовки собственных молодых кадров. В 1995 г. по палеомагнитной тематике успешно защитились первые студенты-дипломники: Дмитрий Васильевич Метёлкин и Василий Юрьевич Брагин. 1994—1995 гг. — период интенсивных полевых исследований и сбора каменного материала под руководством



Начало массовых лабораторных экспериментов. За прибором В.Ю. Брагин, 1994 г.

М.М. Буслова и Леонида Владимировича Кунгурцева. Именно на этих материалах впоследствии будут созданы первые геодинамические реконструкции Южной Сибири.

В этот же период благодаря рекомендациям и поддержке Н.Л. Добрецова и М.М. Буслова были налажены первые международные связи с японскими (в рамках договора о сотрудничестве между ОИГГМ СО РАН и Университетом Хоккайдо) и европейскими (в рамках проекта ИНТАС и Российско-Бельгийского проекта) коллегами.

В конце 1995 г. по инициативе генерального директора ОИГГМ академика Н.Л. Добрецова была сделана попытка объединения всего палеомагнитного сообщества в рамках одной специализированной лаборатории Института геологии, получившей название лаборатории палеомагнитологии. Для этого дирекцией были выделены дополнительные средства и ставки для новых сотрудников, рабочие помещения и закуплено дорогостоящее импортное оборудование — криогенный магнитометр HSM (Германия) на азотной сверхпроводимости. Огромную поддержку в организационный период оказали заведующий отделом формирования и эволюции континентальной коры и осадочной оболочки Земли, экогеологии чл.-кор. РАН Чермен Бейбулатович Борукаев, заместитель директора д.г.-м.н. Александр Геннадьевич Владимиров и ученый секретарь института к.г.-м.н. Василий Юрьевич Колобов. Заведующим лабораторией палеомагнитологии был назначен к.г.-м.н. Н.Н. Семаков. В состав лаборатории вошли кандидаты наук З.Н. Гнибиденко, А.Ю. Казанский, Г.Г. Матасова, Л.В. Кунгурцев и молодые сотрудники: аспиранты Д.В. Метёлкин и Дмитрий Викторович Митрохин, стажер-исследователь В.Ю. Брагин, а в 1997 г. к ним добавился стажер-исследователь Николай Эдуардович Михальцов. Именно эти молодые выпускники Новосибирского государственного университета составили костяк палеомагнитно-геодинамического направления.

Тематика лаборатории охватывала три научных направления: палеомагнитно-методологическое (отв. исполнитель Н.Н. Семаков), палеомагнитно-геодинамическое (отв. исполнители А.Ю. Казанский и Л.В. Кунгурцев) и магнитостратиграфическое (отв. исполнитель З.Н. Гнибиденко).

В начале 1997 г. ученый совет Института геологии рассмотрел две альтернативные программы дальнейшего развития лаборатории палеомагнитологии, представленные Н.Н. Семаковым и А.Ю. Казанским. По результатам голосования была поддержана программа А.Ю. Казанского, после чего Н.Н. Семаков и З.Н. Гнибиденко ушли из лаборатории палеомагнитологии. З.Н. Гнибиденко снова вернулась в Институт геофизики в лабораторию естественных геофизических полей (зав. лабораторией А.Д. Дучков), а Н.Н. Семаков перешел в лабораторию геологических корреляций (зав. лабораторией Н.Л. Добрецов).

Как самостоятельная единица лаборатория палеомагнитологии просуществовала до конца 1998 г. Затем, в процессе укрупнения, объединилась с лабораторией региональной геодинамики. Укрупненная структура получила название лаборатория геодинамики и палеомагнетизма, заведующим стал д.г.-м.н. Сергей Анатольевич Тычков. Сергей Анатольевич считал палеомагнитное направление одним из приоритетных в лаборатории и вплоть до своей безвременной кончины в 2006 г. всячески поддерживал палеомагнитные исследования. Его дружеское отношение к палеомагнитной группе и высокую оценку результатов палеомагнитных исследований сотрудники с теплотой вспоминают до сих пор.



Экспедиционные работы, 2006 г. Слева направо: Е.П. Суткина, А.С. Крамаров, Д.В. Метёлкин, А.Ю. Казанский

В период с 1996 по 2006 г. палеомагнитное направление интенсивно развивалось. Обобщение полученных палеомагнитных данных позволило создать количественную основу для геодинамических реконструкций югозападного обрамления Сибирской платформы в раннем палеозое. Новые палеомагнитные данные позволили восстановить пространственное положение и ориентировку фрагментов складчатого обрамления Сибирской платформы, а также разработать модель формирования и эволюции структуры окраины континента в палеозое (Кунгурцев и др., 2001).

Не меньший интерес представляют палеомагнитные исследования палеозойских комплексов Таймырско-Североземельской складчатой области, направленные на решение историко-тектонических задач. Полученные результаты позволили восстановить историю геологического развития Арктического сектора Сибири в палеозое. Палеомагнитно-геодинамические реконструкции в этом регионе (Metelkin et al., 2005) до сих пор не имеют аналогов в мировой палеомагнитной практике.

Существенно расширилась и тематика палеомагнитных исследований. В рамках палеомагнитно-методологического направления были начаты работы по изучению влияния деформации горных пород на их естественную остаточную намагниченность (Mitrokhin, Kazansky, 2000). Продолжались и магнитостратиграфические исследования: с использованием керна сверхглубокой скважины СГ-6 по палеомагнитным данным была установлена граница перми и триаса в вулканогенно-осадочном разрезе Западно-Сибирской плиты (Казанский и др., 2000), создана первая возрастная модель осадконакопления в оз. Хубсугул (Fedotov et al., 2004). Новым направлением также 586



Полевая экскурсия с китайскими коллегами

стало изучение процессов формирования магнитных свойств лессово-почвенных последовательностей Сибирской субаэральной формации, на основе которых были построены конкретные петромагнитные модели, отражающие основные события в изменении природной среды и климата на качественном и полуколичественном уровне (Matasova, Kazansky, 2004). Петромагнитные данные использовались также для решения геоэкологических проблем (Matasova et al., 2005).

Успешно развивалось и международное сотрудничество: совместные исследования выполнялись в рамках проектов INTAS (Thomas et al., 2002), NSF (Lyons et al., 2002), РФФИ — Γ ФЕН (Zhu et al., 2003).

Большое внимание уделялось подготовке научных кадров. За 1998—2006 гг. защищены три кандидатских и две докторских диссертации, более 15 бакалаврских и магистерских работ.

В 2006 г. в результате очередного укрупнения лаборатория геодинамики и палеомагнетизма объединилась с лабораторией геологии докембрия. Название лаборатории сохранилось, а ее заведующим стал чл.-кор. РАН Валерий Арнольдович Верниковский. В 2007 г. лаборатория геодинамики и палеомагнетизма перешла в Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука.

В это же время (1997–2006 гг.) в палеомагнитной группе (рук. З.Н. Гнибиденко) лаборатории естественных геофизических полей Института геофизики СО РАН (зав. лабораторией д.г.-м.н. А.Д. Дучков) проводились детальные и систематические исследования по магнитостратиграфии кайнозоя различных структурно-фациальных зон Западно-Сибирской плиты. В процессе работ получены палеомагнитные характеристики и построены магнитостратиграфические разрезы и корреляционные схемы кайнозойских отложений для локальных седиментационных бассейнов, располагающихся в пределах Барабинской и Кулундинской равнин, Омско-Павлодарского и Тарского Прииртышья, Томского Приобья, а также для районов Нижнего



Комната «магнитного вакуума». Слева — криогенный магнитометр 2G Enterprises, справа — криогенный магнитометр HSM, в центре — спин-магнитометр JR-6а

Иртыша и Нижней Оби. Нами разработана детальная шкала магнитной полярности кайнозоя Западно-Сибирской плиты для 54 млн лет (включающая стратиграфические подразделения от верхнего палеоцена до верхнего плиоцена), которая состоит из 48 полярных ортозон и является в настоящее время единственной для кайнозоя всей Северной Азии; определено возрастное (хронологическое и стратиграфическое) положение 48 выделенных ортозон, зафиксированных во временном диапазоне 57,4—4,8 млн лет. По результатам этого изучения опубликована единственная за все годы существования палеомагнитных исследований в институте монография «Палеомагнетизм кайнозоя Западно-Сибирской плиты» (Гнибиденко, 2006).

В период с 2006 г. по настоящее время палеомагнитная группа лаборатории естественных геофизических полей Института нефтегазовой геологии и геофизики продолжает магнитостратиграфические исследования в плане детализации ранее созданной шкалы геомагнитной полярности кайнозоя Западно-Сибирской плиты (Гнибиденко, 2006) и начинает большую и серьезную работу по созданию шкалы магнитной полярности мезозоя Сибири (Гнибиденко и др., 2008). Одновременно ведутся работы по изучению тонкой структуры геомагнитного поля, а именно по расшифровке структуры палеополя в период инверсии (Gnibidenko, Semakov, 2008).

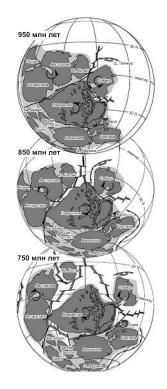
На протяжении всех этих лет исследования проводятся в тесном контакте и сотрудничестве с лабораторией палеонтологии и стратиграфии мезозоя и кайнозоя ИНГГ СО РАН, отделом палеофлористики РАН (г. Москва), лабораторией новейших отложений и палеогеографии плейстоцена МГУ (г. Москва), ПГО «Новосибирскгеология», Омской геолого-разведочной экспедицией, а также по грантам РФФИ и Национального географического общества Америки.

Принципиально новый этап в развитии палеомагнитных исследований начался 23 апреля 2004 г., когда по инициативе академика Н.Л. Добрецова и

Геодинамическая реконструкция нового поколения: эволюция суперконтинента Родиния в неопротерозое (Метёлкин, 2010)

при поддержке целой группы ведущих ученых СО РАН (академики А.Э. Конторович, М.И. Кузьмин, М.И. Эпов, члены-корреспонденты РАН И.В. Гордиенко и Е.В. Скляров) было принято решение о модернизации аппаратурной базы для палеомагнитных исследований — создании специализированного Палеомагнитного центра. Особое внимание и поддержка как при организации Центра, так и в процессе его последующего развития были оказаны чл.-кор. РАН В.А. Верниковским.

Реализация проекта по созданию современного палеомагнитного центра осуществлялась в течение 2006–2007 гг., когда через Приборную комиссию СО РАН была заказана и получена новейшая аппаратура для палеомагнитных исследований — спин-магнитометр JR-6 и, что самое главное, криогенный магнитометр нового поколения фирмы 2G Enterprises (гелиевая сверхпроводимость). Это пер-



вый и пока единственный прибор такого класса в России, а в мире таких приборов всего девять. Для работы магнитометра необходимо было сконструировать и построить специализированное помещение, экранированное от внешнего магнитного поля — «комнату магнитного вакуума». Президиумом СО РАН при непосредственной поддержке академика Н.Л. Добрецова были выделены целевые средства для создания этого уникального помещения. Теоретические расчеты многослойных экранов были выполнены сотрудником ФГУП СНИИМ В.А. Щербаковым, экранирующие материалы удалось получить только благодаря энергичным действиям заместителя директора ИНГГ СО РАН Николая Кирилловича Бахарева. Монтаж «комнаты магнитного вакуума» осуществлен в 2008 г. силами сотрудников лаборатории — Д.В. Метёлкина, Н.Э. Михальцова и В.Ю. Брагина. Конструкция комнаты оказалась удачной: внутреннее поле не превышает 250 нТл, что соответствует принятым в зарубежных лабораториях стандартам. В России подобных помещений еще нет.

Новый уровень аппаратурной базы позволил решать и новые задачи. В настоящее время палеомагнитные исследования в лаборатории геодинамики и палеомагнетизма направлены на разработку современного варианта траектории кажущегося перемещения палеомагнитного полюса Сибирской платформы — основы всех геодинамических реконструкций для Сибири. Значительные успехи здесь достигнуты для неопротерозойского (Метёлкин и др., 2007) и мезозойского (Метёлкин и др., 2008) интервалов. Этот вариант траектории является базовым для разрабатываемых в настоящее время геодинамических реконструкций нового поколения (Верниковский и др., 2009). Ведутся в лаборатории и поисковые исследования на стыке с седиментологией (Жданова и др., 2007) и археологией (Молодин и др., 2009).

ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

A. Δ . Δ учков, Λ .C. Соколова

Формируя научную программу отделения геофизики ИГиГ СО АН СССР, член-корреспондент АН СССР Э.Э. Фотиади организовал в 1960 г. в рамках своей лаборатории физики земной коры и региональных исследований группу «физических свойств и геотермии». Руководителем ее на первом этапе была к.г.-м.н. Ундина Ивановна Моисеенко, до этого работавшая в ВИРГе (г. Ленинград). В группу вошли Александр Николаевич Дударев, вскоре перешедший в геологическое отделение, Майя Аташевна Алиева (геолог, выпускница Бакинского госуниверситета), Людмила Степановна Соколова (физик, Воронежский госуниверситет), Владимир Ефимович Истомин (физик, выпускник НГУ 1966 г.). В 1964 г. к исследованиям подключился Альберт Дмитриевич Дучков (геофизик, окончил Ленинградский горный институт, три с половиной года отработал в Березовской экспедиции 1-го ГГРУ), а в 1973 г. — Сергей Алексеевич Казанцев (радиофизик из НЭТИ). В разное время в группе работали Зинаида Акимовна Соловьёва (геолог, НГУ), инженерконструктор Эдуард Савельевич Хайковский, инженер Надежда Викторовна Самойлова (электронщик, НЭТИ), техники Леонид Алексеевич Гринишин и Виктор Сергеевич Хоронько и др. Из указанного коллектива до настоящего времени продолжают научные исследования по геотермии к.т.н. Л.С. Соколова, д.г.-м.н. А.Д. Дучков, к.т.н. С.А. Казанцев и к.ф.-м.н. В.Е. Истомин.

Деятельность группы началась с изучения при нормальных условиях коллекторских свойств (плотность, пористость, проницаемость и др.) пород и руд Казахстана, Горной Шории и других районов Сибири. Параллельно энергично велось изготовление аппаратуры для проведения измерений тепловых и электрических свойств горных пород при разных термодинамических условиях, а также температуры в скважинах.

Для измерения тепло- и температуропроводности больших образцов (керны диаметром 40 мм и более) горных пород при комнатной температуре Л.С. Соколовой был реализован нестационарный зондовый метод, разработанный к тому времени в ИФЗ АН СССР (Е.А. Любимова и др.). Теплопроводность измерялась также стационарным методом: сначала с помощью прибора А-25 (Институт метрологии, г. Ленинград), требующего изготовления образцов правильной формы (цилиндры диаметром 12 мм и высотой 6 мм), а впоследствии — компаратором теплопроводности (А.Н. Калинин, СибНИИметрологии). Этот прибор не требует сложной обработки горной породы, достаточно одной пришлифованной поверхности.

Для изучения влияния температуры и давления на электрическое сопротивление и теплопроводность основных типов изверженных горных пород было изготовлено несколько установок. Это позволило впервые в Сибири провести обширные эксперименты по изучению теплопроводности и электропроводности изверженных горных пород как при нормальных, так и при высоких температурах и давлениях. Прежде всего следует отметить эксперименты по измерению теплопроводности пород в диапазоне температур от 20 до 1200–1400°С. Результаты измерений в дальнейшем использовались в расчетах теплового потока и глубинных температур. Более детально на несколь-



Э.Э. Фотиади: «Альберт Дмитриевич, на работу нужно ходить в галстуке».

ких установках изучалось изменение электросопротивления изверженных пород при возрастании температуры от нормальных значений до 1200 °С или давления до 30 тыс.кг/см², а также при одновременном воздействии этих факторов. Анализ полученного экспериментального материала позволил высказать суждение о механизме электропроводности в горных породах. Полученные группой в этот период результаты изучения тепловых и электрических свойств пород обобщены в монографии (Моисеенко и др., 1970).

Наличие технических средств измерения тепловых свойств пород позволило оперативно начать изучение теплового потока в Сибири. Необходимо отметить, что инициатором этих исследований в нашей стране (в том числе в ИГиГ СО АН СССР) была проф. Е.А. Любимова (ИФЗ АН СССР).

Геотермические исследования включали на первом этапе сбор данных по термокаротажу нефтепоисковых скважин разных районов Сибири, подготовку измерительной аппаратуры и организацию регулярных полевых работ с целью определения плотности теплового потока. Здесь нелишне напомнить, что плотность теплового потока (q) определяется как произведение вертикального геотермического градиента (g) на коэффициент теплопроводности пород (λ): q (мВт/м²) = $g \cdot \lambda$. Поэтому для определения плотности теплового потока (в дальнейшем просто теплового потока) необходимо подобрать подходящую скважину, измерить в ней температуру для расчета геотермического градиента и отобрать из керна образцы для последующего измерения коэффициента их теплопроводности. В результате проделанной работы уже в 60-х годах прошлого столетия было выполнено несколько десятков определений теплового потока в Алтае-Саянской складчатой области, Байкальской рифтовой зоне, Забайкалье и других регионах Сибири. Первые результаты геотермических исследований обобщены А.Д. Дучковым и Л.С. Соколовой в монографии «Геотермические исследования в Сибири» (1974) и в двух кандидатских диссертациях.

После ухода из института в 1972 г. У.И. Моисеенко изучение коллекторских и электрических свойств горных пород при высоких температурах и

давлениях было прекращено. Однако другое ранее определенное научное направление — геотермия — получила дальнейшее развитие. Уместно отметить, что геотермическое направление, организованное в начале 60-х годов Э.Э. Фотиади, сохранило свое значение до настоящего времени, ориентируясь на изучение внутриземных процессов, в той или иной степени связанных с температурой.

В 1972 г. группа (уже как геотермическая) была переведена в лабораторию электромагнитных полей ИГиГ СО АН СССР. Возглавил группу к.т.н. А.Д. Дучков. В 70–80-х годах наш коллектив продолжил измерения теплового потока в разных регионах Сибири. Именно в этот период группами геотермии из ИГиГ, ИЗК и ИМЗ СО АН СССР был получен основной объем информации о тепловом режиме литосферы Сибири. Параллельно с проведением экспериментов большое внимание уделялось совершенствованию аппаратуры и методики геотермических исследований. Была начата разработка аппаратуры для измерения теплового потока через дно акваторий - сначала аналоговых, а затем и цифровых термографов. С 1973 г. этой проблемой в группе занимался С.А. Казанцев (к.т.н. с 1998 г.). В итоге была разработана автономная многоцелевая многоканальная аппаратура (ГЕТАС, АИТ), которая используется в качестве регистратора при проведении морских работ и для температурного мониторинга на суше. Аппаратура применяется многими организациями Сибири для выполнения длительных режимных измерений температуры. Разные модели термографов были задействованы нами для изучения теплового потока через дно озер Байкал, Телецкое, Ладожское, Иссык-Куль, а также Черного, Каспийского, Баренцева морей и в ряде районов Тихого и Атлантического океанов. Наиболее детально изучен тепловой поток на Черном море. Здесь нами выполнено более 200 измерений и выявлена в западной части моря огромная область низкого теплового потока, вызванная лавинным осадконакоплением в кайнозое.

Накопление сведений о тепловом потоке поставило вопрос о развитии методики обработки, представления и анализа данных. Геотермическая группа ИГиГ решала эти проблемы в тесном контакте с геотермиками ИЗК (С.В. Лысак, В.А. Голубев, Р.П. Дорофеева) и ИМЗ (В.Т. Балобаев, В.Н. Девяткин, А.Н. Левченко и др.) СО АН СССР. К концу 80-х годов прошлого столетия удалось выполнить достаточно полное обобщение данных о тепловом потоке Сибири в виде специального каталога (Каталог..., 1985) и серии карт.

Одной из основных целей изучения теплового потока является последующее прогнозирование глубинных температур в литосфере геотермическим методом. Л.С. Соколова выполнила большой объем расчетов глубинных температур для разных природных обстановок и показала определяющее влияние значений теплового потока. В итоге был предложен упрощенный метод оценки глубинных температур, который нами использовался для описания распределения температуры в земной коре (в том числе на границе Мохо) и оценки мощности «термической» литосферы.

Этап геотермических исследований освещен в коллективной монографии «Тепловое поле недр Сибири» (1987), одной из последних работ, вышедших под редакцией Э.Э. Фотиади. В это же время цикл исследований геотермических групп НИИ Сибирского отделения (ИГиГ, ИЗК, ИМЗ, ИКЗ) по теме «Исследование теплового поля недр Сибири» был отмечен первой премией на конкурсе фундаментальных работ СО АН СССР (1987).

В 1988 г., после смерти Э.Э. Фотиади, на базе его лаборатории были организованы лаборатория естественных геофизических полей (заведующий до 2006 г. — к.т.н. А.Д. Дучков, д.г.-м.н. с 1992 г.) и лаборатория региональной геодинамики (заведующий — к.г.-м.н. С.А. Тычков). Последняя в скором времени перешла в геологическую часть института. В лаборатории естественных геофизических полей объединились специалисты по экспериментальному изучению вариаций геофизических полей.

Новый этап геотермических исследований начался уже в составе Института геофизики СО РАН, который сформировался после преобразования ИГиГ СО АН СССР в Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН. В результате распада СССР и формирования новых экономических взаимоотношений резко сократились



Спуск прибора на оз. Телецкое, 1995 г. А.А. Дучков (слева) и С.А. Казанцев

возможности экспедиционных геотермических работ. Основные усилия пришлось направить на анализ и пересмотр ранее полученной информации в тесном сотрудничестве с другими геотермическими коллективами Сибири. Одновременно формировались международные связи с учеными Бельгии, Франции, Германии, США. Это позволило продолжить экспериментальные геотермические работы в первую очередь на озерах Байкал, Телецкое, Иссык-Куль и выполнить большое количество научных проектов — как российских (РФФИ, ГНТП «Глобальные изменения природной среды и климата»,



Геотермальный конгресс во Флоренции. Италия, 1995 г. Экскурсия на вулканическое поле Лондерелло. Л.С. Соколова и А.Д. Дучков (крайний справа) с китайскими коллегами

интеграционных), так и международных (гранты Государственного департамента США, INCO-COPERNIKUS, ENRICH, INTAS). В итоге в 90-х годах бых создан электронный «Геотермический атлас Сибири», включивший карту теплового потока и карты температуры на глубинах 500 м, 1, 2, 3 и 5 км (масштаб карт 1:5 000 000).

Совместно с коллегами из ИМЗ и ИКЗ СО РАН выполнен ряд фундаментальных исследований по геотермии мерзлоты: разработана методика термодинамического районирования криолитозоны, установлена (по геотермическим данным) ее повсеместная деградация в голоцене. Большое внимание уделялось геотермическим проблемам формирования и распада газогидратов в подмерзлотных породах севера Сибири и в осадках оз. Байкал. Сейсмические данные о наличии газогидратов в осадках оз. Байкал (положение границы BSR) использованы для независимых оценок теплового потока. Эти оценки, а также измерения температуры в подводных скважинах озера позволили уточнить параметры и природу аномалии теплового потока в Байкальской рифтовой зоне. Освоена методика палеоклиматических реконструкций термограмм скважин и выполнены этим методом оценки трендов потепления климата в Сибири в последние 500 лет. Рассмотрены возможности использования результатов термобарометрии коровых и мантийных ксенолитов для независимой оценки глубинных температур и определения природы (глубинная, поверхностная) аномалий теплового потока. Из исследований последних лет можно отметить проведение совместно с ИНХ СО РАН цикла работ по моделированию и измерению теплопроводности гидратсодержащих образцов. Целью этих исследований является разработка геотермического метода поисков поддонных скоплений гидратов метана. Интерес представляет также апробация изотопно-гелиевого метода при изучении распределения теплового потока в Тувинском регионе.

Результаты перечисленных геотермических исследований опубликованы в большом количестве работ в российских и зарубежных изданиях. Широта тематик геотермических исследований позволила сохранить коллектив в трудный для страны период и получить при этом значительные объемы новой научной информации.

С 2006 г. лаборатория естественных геофизических полей (зав. лаб. к.г.-м.н. П.Г. Дядьков) находится в составе Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Геотермические исследования продолжаются в рамках нескольких проектов, ориентированных на продолжение обобщения геотермических параметров в пределах Сибири, совершенствование аппаратуры и методики мониторинга температуры в скважинах и донных осадках водоемов, разработку геотермического метода поисков поддонных скоплений гидратов метана и др. Группа пополнилась двумя молодыми научными сотрудниками — Д.Е. Аюновым и М.Е. Пермяковым. Интерес к геотермическим исследованиям не спадает, что позволяет надеяться на их дальнейшее развитие.