8.3. ГЛУБИННОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ (ГСЗ) И СЕЙСМОЛОГИЯ. ШКОЛА АКАДЕМИКА Н.Н. ПУЗЫРЁВА – ЧЛ.-КОР. АН СССР С.В. КРЫЛОВА

В этом разделе описывается становление новосибирской школы ГСЗ, история лаборатории сейсмологии и новой лаборатории инженерной сейсмологии. Школа академика Н.Н. Пузырёва — члена-корреспондента АН СССР С.В. Крылова.

НОВОСИБИРСКАЯ ШКОЛА ГЛУБИННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

З.Р. Мишенькина, В.Д. Суворов

В начале 60-х годов прошлого столетия большая часть сибирских регионов была мало изучена геофизическими методами. Для быстрого освоения районов, перспективных на нефть и газ, требовались знания о строении складчатого фундамента и земной коры. Имевшиеся карты поверхности фундамента были построены на основе гравиметрических и магнитометрических измерений. Необходимо было за небольшой срок получить более обоснованные и детальные сведения о глубинном строении огромных территорий сейсмическими методами.

В 1959–1960 гг. Н.Н. Пузырёв, уже в то время один из ведущих сейсморазведчиков страны, собрал в лаборатории сейсмометрии, которую он возглавлял, группу сотрудников для изучения глубинного строения земной коры Сибири. В нее вошли уже сложившиеся специалисты по сейсморазведке и ГСЗ Станислав Васильевич Потапьев и Юлия Андреевна Трескова. С 1961 г. группу возглавил Сергей Васильевич Крылов, окончивший аспирантуру Ленинградского горного института и защитивший кандидатскую диссертацию. Тогда же коллектив пополнился молодыми специалистами-геофизиками, выпускниками Московского института нефтехимической и газовой промышленности Борисом Петровичем Мишенькиным и Забиной Рейнгольдовной Мишенькиной. Недолгое время (1961–1963 гг.) в работе участвовали Андрей Дмитриевич Боголюбский и Софья Касимовна Биккенина.

Опыт проведения трудоемких в своей организации сейсмических наблюдений на труднопроходимой, часто болотистой местности Сибири был небольшой. Единственный профиль ГСЗ «г. Барабинск–с. Овечкино» на юге Западно-Сибирской плиты был отработан в 1958 г. СНИИГГиМСом методом КМПВ в классической модификации непрерывного профилирования с 60-канальной сейсмостанцией КМПВ-60 и двумя полукосами общей длиной 6 км.

С самого начала было очевидно, что методика непрерывного профилирования не обеспечивает быстрого исследования глубинного строения территории Сибири: она высокозатратная и не дает необходимых темпов работ. Поэтому Н.Н. Пузырёв предложил реализовать стратегию поэтапного проведения работ, при котором на начальном малодетальном этапе целью исследований является региональное изучение крупных черт земной коры различных районов Сибири за относительно небольшой срок, а на детальном — подробно изучаются наиболее интересные участки. В связи с этим началась

разработка методики дискретных наблюдений для начального регионального этапа исследований.

Уже в 1960 г. Н.Н. Пузырёв опубликовал первую работу «К вопросу о применении упрощенных схем наблюдений при изучении складчатого фундамента Западно-Сибирской низменности методом преломленных волн», в которой была изложена концепция создаваемой им и его сотрудниками методики точечных (дифференциальных) зондирований. Уточняющее слово «дифференциальных» использовалось, чтобы подчеркнуть важность использования не одноканальных наблюдений, а наблюдений на базе около 1 км не менее чем шестью каналами, обеспечивающими более надежное выделение первых вступлений за счет оценок кажущейся скорости. Разработке основ, развитию и применению на практике этой методики были посвящены работы Н.Н. Пузырёва, С.В. Крылова и группы ГСЗ примерно до середины 70-х годов.

Методика точечных (дифференциальных) зондирований — это комплекс систем наблюдений отдельных групп опорных глубинных волн в областях их оптимального прослеживания, использование специальных полей времен при идентификации и дискретной корреляции волн, способы обработки и построения разрезов.

Теоретические исследования по обоснованию и использованию полей времен для различных типов волн выполнялись в первые годы преимущественно Н.Н. Пузырёвым и С.В. Крыловым. Впоследствии были подключены и молодые сотрудники. Все разработки, касающиеся выбора систем наблюдений, дискретной корреляции волн, их интерпретации и построения разрезов, проводились одновременно с полевыми работами, где они проверялись и усовершенствовались.

Первые полевые работы были организованы уже в 1962 г. вдоль широтного течения р. Оби на профиле ГСЗ с. Шапша (вблизи г. Ханты-Мансийска)–с. Локосово. Они нашли свое продолжение в 1963 г., когда маршрут продолжили до пос. Усть-Тым. В результате был построен первый полноценный разрез земной коры от г. Ханты-Мансийск до пос. Усть-Тым, на котором представлены поверхность консолидированного фундамента на глубине 2,5–4,4 км с меняющейся вдоль профиля граничной скоростью 5,2–6,0 км/с, поверхность мантии на глубине 36–41 км с граничной скоростью 7,9–8,1 км/с, а также преломляющая граница в толще фундамента с граничной скоростью 6,2–6,4 км/с на глубине 6–8 км и отражающая граница в земной коре на глубинах 17–25 км. Впоследствии стало ясно, что граница со скоростью 5,2–6,0 км/с маркирует кровлю доюрских отложений, а граница со скоростью 6,2–6,4 км/с может быть отнесена к собственно кровле кристаллического фундамента.

Полевыми работами руководил С.В. Крылов, из сотрудников института в их организации и проведении участвовали С.В. Потапьев, Ю.А. Трескова, С.К. Биккенина, А.Д. Боголюбский и студент НГУ Владимир Дмитриевич Суворов. Б.П. Мишенькин работал оператором на сейсмостанции СС-24П2. Эта станция предназначалась для стандартных производственных сейсморазведочных работ и в ходе наблюдений была им модифицирована для ГСЗ в более низкочастотном диапазоне. Исследования проводились в содружестве с Новосибирским геофизическим трестом Мингео СССР (НГТ), с сотрудниками и руководством которого сложились тесные и доброжелательные отношения.

В 1962–1970 гг. для сейсмических маршрутов в Западной Сибири использовались практически все судоходные реки южнее широтного течения

р. Оби. В 1964 г. работы по субширотному маршруту были продолжены по р. Оби от Усть-Тыма до г. Колпашево и по ее притоку р. Кеть до Усть-Озерного, а в 1965 г. завершены по широтному течению р. Ангары до пос. Ковы. Этот профиль общей длиной 1900 км пересекал центральные и восточные районы Западно-Сибирской плиты, Енисейский кряж и восточную окраину Сибирской платформы.

В 1966 г. работа по созданию опорной сети профилей ГСЗ продолжалась на субмеридиональном направлении с выходом в районы Алтае-Саянской области по рекам Обь, Томь от Колпашева до Таштагола. Один из самых длинных профилей (1400 км) от г. Ханты-Мансийска вдоль р. Иртыш до пос. Черлак был проложен в 1967 г.

Таким образом, каркасная сеть профилей ГСЗ пополнялась каждый год маршрутами длиной 500–700 км. Полевой сезон длился от начала июня до середины октября. Пока исследования проводились по речным маршрутам, практически все сотрудники группы ГСЗ участвовали в полевых работах. В 1964 г. на Сахалин уехали Ю.А. Трескова и С.К. Биккенина, но в группу вошли Аста Леонидовна Крылова, специалист по комплексной интерпретации геофизических данных, и выпускники НГУ В.Д. Суворов и Татьяна Александровна Янушевич.

В организационном плане партия ГСЗ представляла собой караван не менее чем из трех судов. Два из них, на каждом из которых находились сейсмостанция и комплект сейсмоприемников и кос, располагались, как правило, на расстоянии 20–30 км друг от друга, а корабль с бригадой взрывников находился от них на удалении 30–70 км (для приема волн от поверхности фундамента и от границ в верхней и средней частях земной коры) или 170–240 км (расстояние для приема волн от поверхности мантии). Сейсмостанции размещались либо на брандвахтах, либо на речных трамваях, где были организованы также рабочие и жилые места для всех участников исследований. Сотрудники нашей группы не только организовывали и планировали весь цикл работ, но уже в поле обрабатывали полученные сейсмограммы, составляли предварительные разрезы, что давало возможность оперативно вносить коррективы в расположение отдельных зондирований. Нашей обязанностью было написание научной и результативной частей ежегодного производственного отчета и его защита в НГТ.

Эта традиция сохранялась и в будущем. Вклад производственных геофизических организаций в общее дело был огромным. Они обеспечили кадровый состав и всю организационно-техническую базу работ, техническое оснащение и аппаратуру. В нашу обязанность входило осуществление научного руководства и основная часть обработки полученных данных. Такое сотрудничество гарантировало получение качественных и надежных результатов.

В дополнение к проведенным вдоль крупных рек исследованиям в 1968 г. был проложен первый сухопутный профиль «г. Ишим–г. Барабинск», а в 1969 г. — маршрут «пос. Овечкино–г. Усть-Нарык». Это позволило составить сводный профиль от Таштагола до свердловского пересечения Урала.

На всех профилях определены глубины поверхности мантии, консолидированной коры и несколько внутрикоровых границ, получены граничные и средние скорости. Эти данные характеризуют крупные черты строения земной коры и верхов мантии в центральной и южных частях Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления на участках Енисейского кряжа, Алтае-Саянской области и Северного Казахстана.

Надежность результатов региональных исследований по малодетальной методике дифференциальных зондирований была доказана путем сравнения результатов обработки данных стандартного профилирования. По данным наблюдений вдоль профилей на Украине и в Казахстане С.В. Крылов совместно с В.Д. Суворовым показали, что выборка из 10 % объема непрерывного профилирования, удовлетворяющая условиям корректного построения полей времен для опорных волн, позволяет уверенно определить основные характеристики сейсмического разреза.

На юге Западно-Сибирской плиты для углубленного изучения внутреннего строения фундамента начиная с 1971 г. применялся разработанный Н.Н. Пузырёвым площадной вариант методики точечных (дифференциальных) зондирований с использованием специальных трехмерных полей времен. На территории Омской, Новосибирской и Курганской областей исследования проводились на площади около 100 тыс. км^2. В результате были построены карта рельефа кровли фундамента с выделением осложняющих структур размерами более 10 км, карта распределения граничных скоростей в породах, подстилающих кровлю фундамента, и карта распространения промежуточного структурного этажа. С 1968 г. экспериментальными исследованиями на юге Западно-Сибирской плиты руководил В.Д. Суворов. Вместе с С.В. Крыловым он участвовал в разработке систем наблюдений, теории интерпретации двухмерных и трехмерных полей времен разных типов волн. В этой работе принимали участие А.Л. Крылова, Владимир Анатольевич Сергеев (1972–1973 гг.), Владимир Николаевич Сергеев (с 1974 г.) и бессменный начальник партий и затем техрук ЦГЭ НТГУ Александр Львович Рудницкий.

Определенная часть работ по обеспечению научно-методического руководства изучения структуры фундамента методикой профильных и площадных дифференциальных зондирований преломленными волнами выполнялась В.Д. Суворовым в содружестве с Ханты-Мансийским геофизическим трестом и трестом «Ямалнефтегеофизика».

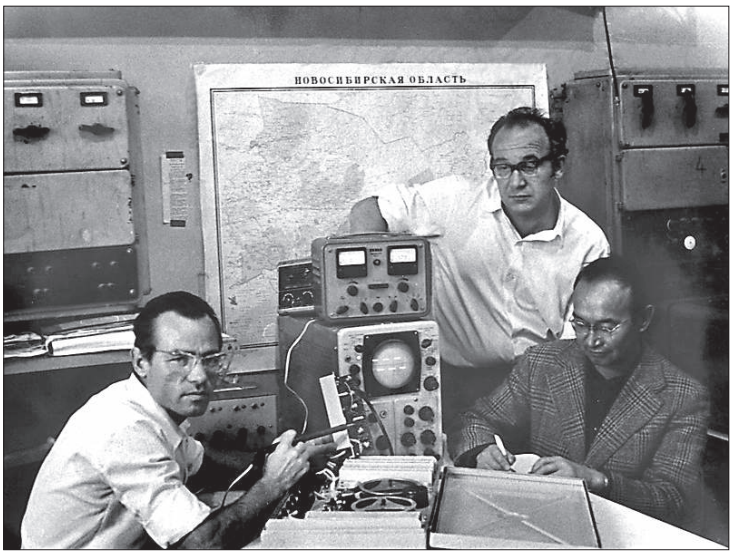
Академик Н.Н. Пузырёв докладывает президенту АН СССР А.П. Александрову о проводимых в ИГиГ СО АН СССР геофизических исследованиях

В течение десяти лет группа региональных исследований формально входила в лабораторию сейсмометрии. За это время под руководством Н.Н. Пузырёва был выполнен большой объем работ по исследованию глубинного строения преимущественно Западно-Сибирской плиты, и когда в 1970 г. на основе лаборатории сейсмометрии создавался сейсмический отдел института, наша группа была преобразована в лабораторию глубинных сейсмических исследований. Ее заведующим стал С.В. Крылов, который год спустя защитил докторскую диссертацию на тему «Глубинное сейсмическое зондирование в Сибири (методика и результаты исследований)». В ней отражен тот огромный вклад, который С.В. Крылов внес в развитие и становление методики точечных (дифференциальных) зондирований и осмысление результатов ее применения в Сибири. Наиболее существенным результатом выполненных региональных работ, имеющим важное геологическое значение, было выделение второго (доюрского) структурного этажа Западно-Сибирской плиты.

Уже в 1968 г. по инициативе Н.Н. Пузырёва и под его руководством был начат новый проект изучения Байкальской рифтовой зоны и прилегающих к ней территорий. Эти исследования продолжались более 25 лет совместно с Восточным геофизическим трестом и в творческом контакте с его главным геологом Марком Мироновичем Мандельбаумом. Полевыми наблюдениями руководил Б.П. Мишенькин (с 1970 г. к.г.-м.н.), до этого возглавлявший экспериментальные исследования в Западной Сибири. В последующие годы сотрудниками лаборатории стали выпускники НГУ Геннадий Васильевич Петрик (1968–2001), Виктор Сергеевич Селезнёв (1973–1984), Александр Вениаминович Брыксин (1977–1992), Виктор Михайлович Соловьёв (1978–1984), Иван Фёдорович Шелудько (1979–2000), Юрий Владимирович Кульчинский (1981–1993), Елена Николаевна Тен (1984–1995). Все они еще студентами участвовали в полевых работах байкальского отряда и затем многие годы занимались исследованиями в качестве научных сотрудников. В 1977 г. сотрудником лаборатории и аспирантом С.В. Крылова стал Александр Фёдорович Еманов, до этого работавший в ВостСНИИГГиМСе.

В первые годы изучения Байкальской рифтовой зоны, примерно до 1970 г., методика проведения наблюдений практически не отличалась от ранее принятой в Западной Сибири. На первых региональных профилях для регистрации упругих колебаний использовались одновременно до четырех комплектов записывающей аппаратуры. Каждый комплект состоял из сейсмостанции СС-24П, магнитной приставки АПМЗ-4М и сейсмографов НС-3. При маршрутных системах наблюдений применялись две системы зондирований. Одна — с расстояниями «взрыв–прием» 30–70 км — предназначалась для изучения внутреннего строения верхней части земной коры. Вторая система включала зондирования с базами 170–250 км и была рассчитана на изучение рельефа и скорости на границе Мохо.

Прорыв в технологии ведения работ был достигнут с переходом на регистрацию упругих волн портативной телеуправляемой 6-канальной аппаратурой «Тайга». Она состояла из полевых регистраторов с аналоговой магнитной записью, блока воспроизведения и диспетчерского пункта. Этой разработке, выполненной под руководством Иннокентия Сафьяновича Чичинина, Н.Н. Пузырёв уделял постоянное внимание. В ее разработке (с 1963 г.), изготовлении пробной партии из 20 регистраторов на Опытном заводе СО АН (1965) и затем во внедрении в различные организации участ-



В.М. Носов (слева), А.И. Бочанов и И.С. Чичинин (справа) «колдуют» над аппаратурой «Тайга». 1968 г.

вовали сотрудники института Анатолий Иванович Бочанов, Геннадий Владимирович Егоров, Владимир Михайлович Носов и др. На Опытном заводе СО АН СССР в течение 1969–1973 гг. был налажен серийный выпуск аппаратуры «Тайга-1». Всего выпущено около 410 регистраторов. Из них 210 получила Специальная опытно-методическая экспедиция (СОМГЭ) для проведения полевых работ вдоль сверхдлинных профилей ГСЗ с ядерными взрывами. СНИИГГиМС получил 80 регистраторов, Якутский институт геологических наук — 17, Иркутский геофизический трест — 15, СахКНИИ — 26, Новосибирский геофизический трест — 23, Институт Арктики и Антарктиды — 9, Воронежский университет — 10. В 1974–1991 гг. заводом «Нефтеприбор» было выпущено 2000 комплектов. Дважды, в 1977 г. («Тайга-1») и в 1981 г. («Тайга-2»), аппаратура награждалась золотыми медалями ВДНХ СССР. Ее важными особенностями были относительно невысокая стоимость и при надлежащей эксплуатации — высокая надежность.

Использование этой аппаратуры позволило резко повысить производительность полевых работ и детальность исследований методом ГСЗ в Сибири. Одновременно могло использоваться большое число регистраторов (в наиболее типичных случаях от 12 до 50 шт., в отличие от СОМГЭ с несколькими сотнями регистраторов), транспортируемых в основном вертолетами. Дистанционное включение станций и передача кодированных марок времени выполнялись по радио на расстояниях от 100–500 до 3000 км. Не все сразу получалось при освоении аппаратуры в поле, наибольшие трудности встретились при работе с диспетчерским пультом, используемым для телевключения по радиоканалу. Необходимо было научиться обеспечивать устойчивую радиосвязь. В конечном счете эти трудности были преодолены и аппаратура эффективно использовалась при полевых наблюдениях вплоть до 1995 г., когда в разгар перестройки было принято решение перейти на твердотельную цифровую запись.

Дополнительно часть полевых наблюдений с аппаратурой «Тайга» была выполнена в 1967–1973 г. в Приморье, Якутии, на Камчатке и Сахалине при

«Тайга» в поисках кимберлитовых полей. В.Д. Суворов и Э.С. Суворова на полевых работах в Якутии. 1988 г.

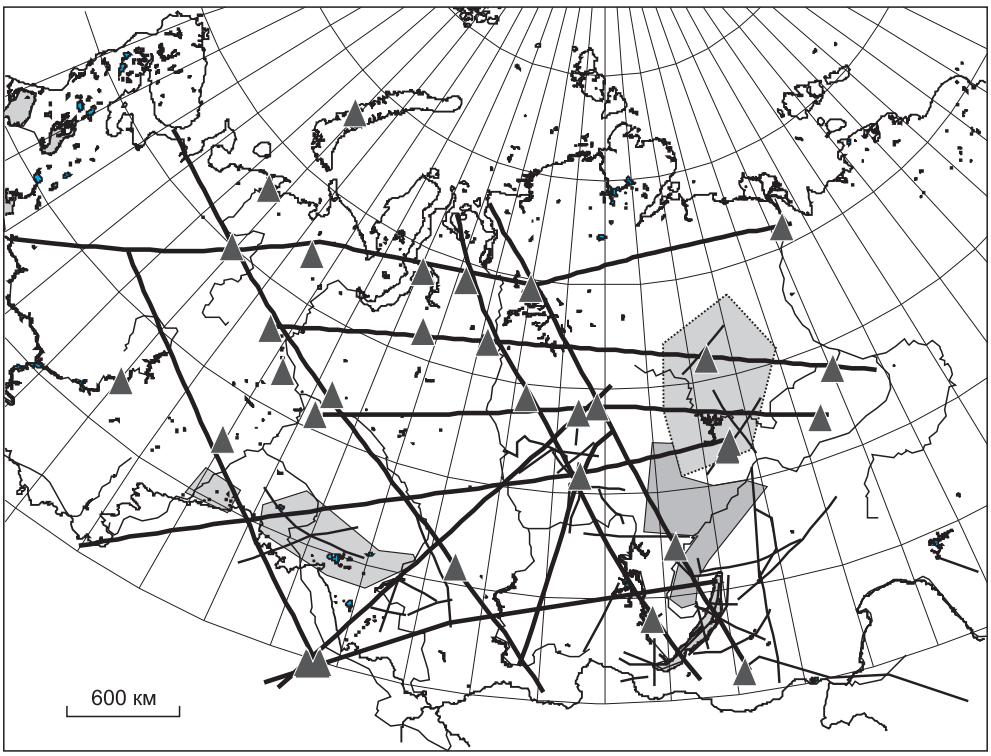
возбуждении упругих колебаний бомбометанием. Предложил и реализовал эту идею С.В. Потапьев при поддержке Михаила Алексеевича Лаврентьева, Андрея Алексеевича Трофимука, Н.Н. Пузырёва и в содружестве с ВВС СССР.

В Байкальском регионе рекогносцировочный этап исследований завершился в 1977 г. К тому времени было выполнено около 6 тыс. км сейсмических профилей и большой объем площадных исследований преимущественно продольными волнами, что позволило установить основные черты глубинного строения рифтовой зоны. Показано, что диапазон глубин до поверхности мантии составляет в рифтовой зоне 34–55 км, в отличие от сопредельных районов Сибирской платформы и Забайкалья, где мощность земной коры изменяется в пределах 37–45 км.

Под Байкальской впадиной и на обширной территории к юго-востоку от нее граничная скорость на поверхности Мохо оказалась аномально низкой – 7,7–7,8 км/с. На прилегающих к этой области территориях Сибирской платформы и Забайкалья скорость имеет нормальное для континентальной мантии значение 8,1–8,2 км/с. Область с пониженной скоростью на поверхности мантии протягивается в северо-восточном направлении более чем на 1500 км и имеет поперечные размеры от 200 до 400 км. Рифтовая зона целиком находится в пределах территории с аномально низкой скоростью.

Практически под всеми рифтовыми впадинами (Байкальской, Тункинской, Баргузинской, Муйской, Чарской) в интервале глубин 12–17 км был обнаружен волноводный слой с дефицитом скорости 0,2–0,4 км/с. Результаты регионального изучения Байкальской рифтовой зоны докладывались Н.Н. Пузырёвым на Всемирном геофизическом конгрессе в Мадриде (1969 г.) и Дарэме (1977 г.).

К тому времени Байкальская рифтовая зона была одной из наиболее изученных сейсмическим методом континентальных рифтовых зон мира.



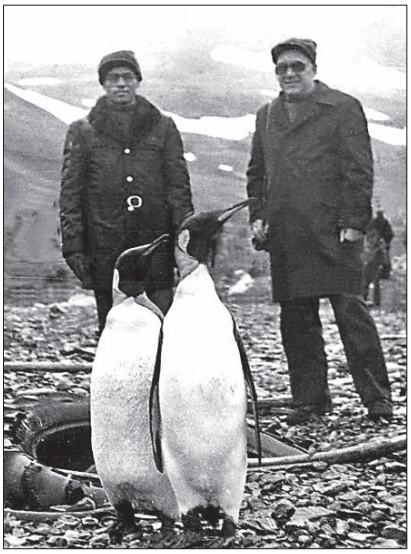
Полевые сейсмические наблюдения на территории Сибири, выполненные с телеуправляемой аппаратурой «Тайга».

Толстыми линиями показаны сверхдлинные профили, отработанные с ядерными и обычными химическими взрывами, тонкими — профили ГСЗ, отработанные Сибирскими геофизическими организациями в Западной, Восточной Сибири и Байкальской рифтовой зоне. Заштрихованными контурами показаны площадные наблюдения при изучении доюрских отложений в Западной Сибири, поверхности кристаллического фундамента на юге Сибирской платформы и земной коры в Якутской кимберлитовой провинции.

Обобщенные десятилетние региональные исследования рифтовой зоны изложены С.В. Крыловым и коллективом исполнителей в монографии «Недра Байкала по сейсмическим данным» (1981).

Успехи новосибирской школы региональных сейсмических исследований были оценены геологической и геофизической общественностью уже в 1976 г. Признанием значимости и масштабности проведенных исследований стало выдвижение в 1977 г. авторского коллектива на соискание Государственной премии СССР за работу «Методика и аппаратура для региональных сейсмических исследований в труднодоступной местности и их применение в Сибири». В коллектив авторов входили руководители исследований Н.Н. Пузырёв и С.В. Крылов, сотрудники лаборатории Б.П. Мишенькин и В.Д. Суворов, разработчики аппаратуры «Тайга» И.С. Чичинин, А.И. Бочанов, Г.В. Егоров и представители научных и производственных организаций, под руководством и при активном участии которых производились исследования в разных регионах Сибири, — Владимир Константинович Монастырёв, Василий Леонтьевич Кузнецов, Александр Львович Рудницкий и Гурген Джангирович Бабаян.

Ареал проведения сейсмических исследований ГСЗ по методике точечных сейсмических зондирований становился все шире. В 1972–1973 гг. в рамках 18-й Советской Антарктической экспедиции в содружестве с Институтом геологии Арктики и Антарктики, Полярной геофизической экспедицией НПО «Севморгео» и Советской Антарктической экспедицией ААНИИ объединенный отряд нашего института и Восточного геофизического треста проводил работы ГСЗ в Восточной Антарктиде, на землях Мак-Робертсона и Принцессы Елизаветы. Главными исполнителями являлись Б.П. Мишенькин, возглавлявший отряд, Анатолий Фёдорович Колмаков и Вадим Петрович Васильев. На профиле, пересекающем горы Принца Чарльза, шельфовый ледник Эймери и берег Ингрид Кристенсен, была определена мощность земной коры, составляющая 30, 22 и 30 км соответственно.



В.М. Носов (слева) и А.И. Бочанов. Дамы ушли на свидание. Антарктида, 1973 г.

Исследования продолжились в 1979–1980 (25 САЭ) и 1982–1983 гг. (28 САЭ) в Западной Антарктиде в районе моря Уэдделла и шельфового ледника Фильхнера. Отрядом руководил Г.В. Петрик, от института в полевых работах участвовали А.И. Бочанов, В.Н. Сергеев, А.В. Брыксин, Владимир Валерьянович Маньковский, В.М. Носов, Александр Андреевич Ментюков и Александр Константинович Манштейн, от ПГО «Иркутскгеофизика» – Евгений Анатольевич Колмаков, Михаил Константинович Артюхов, И.В. Богданов и др. В результате была установлена большая мощность осадочного чехла в шельфовой зоне моря Уэдделла (15–17 км). Мощность земной коры изменяется в пределах 33–37 км. Граничная скорость на поверхности мантии составляет 8,3 км/с, но есть большой участок в центральной части профиля, где скорость на несколько десятых км/с меньше, как в рифтовых зонах.

Большое практическое значение имели работы по изучению поверхности кристаллического фундамента на Сибирской платформе. На Непском своде ПГО «Иркутскгеофизика» с участием сотрудников ИГиГ проводился большой объем маршрутно-площадных наблюдений преломленными волнами. От ИГиГ СО АН в работах принимал участие Г.В. Петрик, а от ПГО «Иркутскгеофизика» – Юрий Фёдорович Баринов, Александр Иванович Зольников, Сергей Иванович Корж, Тамара Григорьевна Смирнова, Людмила Константиновна Елисеева, Николай Константинович Иванов и др. Получены данные о морфологии свода и прилегающей части Ангаро-Ленского прогиба, характеризующегося значительным погружением (до 4–5 км) фундамента.

В 80-е годы начался детальный этап сейсмических исследований на северо-востоке Байкальской рифтовой зоны. На Муйско-Чарском участке использовались более плотные маршрутные (более 2000 км) и площадные системы наблюдения для регистрации продольных и поперечных волн из земной коры и от поверхности мантии. Одновременно разрабатывались современные методы обработки сейсмических материалов как методы двухмерной и

трехмерной томографии на временных задержках (С.В. Крылов, З.Р. Мишенькина, И.Ф. Шелудько).

Значительный задел по развитию автоматической обработки поля колебаний головных волн был сделан С.В. Крыловым и В.Н. Сергеевым, предложившим алгоритм их пересчета в динамическую линию l = const, являющуюся аналогом временного разреза ОГТ. В условиях слоистого разреза разрабатывались способы селекции головных волн от каждой из границ по принципу синфазного суммирования параллельных нагоняющих годографов. Учитывались также эффекты, связанные с проникновением (рефракцией) волн в толщу слоев.

По данным лабораторных измерений физических свойств для кристаллических пород С.В. Крыловым были выявлены устойчивые статистические зависимости между скоростями продольных и поперечных волн, плотностью и упругими модулями. Совместно с Е.Н. Тен были также установлены корреляционные связи между скоростями и вещественным составом пород, определенным как содержание кварца, суммарное содержание кремнезема, суммы окислов железа и магния. Используя эти разработки, по данным продольных и поперечных волн на северном фланге Байкальской рифтовой зоны были построены разрезы земной коры, характеризующие объемные неоднородности распределения скорости продольных и поперечных волн, плотности, упругих модулей и показателей вещественного состава пород до глубин 20–25 км.

Итогом детальных исследований ГСЗ в Байкальском регионе явилась коллективная монография «Детальные сейсмические исследования на *P*- и *S*-волнах», авторами которой выступали все сотрудники лаборатории, активно участвовавшие в разработке методики и способов интерпретации, полевых работах и обработке данных.

Период детальных сейсмических исследований в Муйско-Чарском регионе совпал со строительством Байкало-Амурской магистрали. Дополнительно к региональным и детальным исследованиям на профиле «Усть-Кут–Нижнеангарск–Муя–Чара» было подробно изучено строение поверхности фундамента в Муйской впадине, в районе Муйского тоннеля. За вклад в успешное освоение региона С.В. Крылов, Б.П. Мишенькин, Г.В. Петрик и И.Ф. Шелудько награждены медалью «За строительство БАМ», а Б.П. Мишенькин стал лауреатом премии Совета министров СССР в коллективе соавторов из Института земной коры, ВостСНИИГГиМСа, ПГО «Иркутскгеофизика» за комплекс геолого-геофизических исследований «Геология и сейсмичность зоны БАМ» (1983–1985). В 1987 г. С.В. Крылов был избран членом-корреспондентом АН СССР.

К 80-м годам в лаборатории выросли высококвалифицированные специалисты по изучению глубинного строения литосферы, обладающие большим потенциалом организаторских и исследовательских возможностей. В 1980 г. руководство работами ГСЗ в Якутской кимберлитовой провинции возглавил В.Д. Суворов, ставший заведующим лабораторией в Якутском институте геологических наук. На протяжении 1980–1995 гг. совместно с Ботуобинской ГРЭ, Иреляхской геофизической экспедицией при поддержке Якутского геологического управления и главного геофизика Георгия Дмитриевича Балакшина, а впоследствии и АК «АЛРОСА» были выполнены уникальные профильные и площадные исследования методом ГСЗ в Якутии.

В 1984 г. В.С. Селезнёв, В.М. Соловьёв и А.Ф. Еманов образовали ядро вновь организованной Новосибирской опытно-методической вибросейсмической экспедиции. Впоследствии она составила основу для организации Геофизической службы СО РАН.

Конец 80-х и начало 90-х годов были для лаборатории весьма плодотворными. На основе петрофизической интерпретации скорости распространения продольных и поперечных волн С.В. Крыловым была обоснована методика деформационно-прочностного районирования сейсмоопасных территорий по удельной прочности и упругой удельной энергоемкости. Для Байкальской рифтовой зоны и северо-запада Алтае-Саянской области была обнаружена связь между деформационно-прочностными неоднородностями в земной коре и распределением очагов землетрясений. Сейчас это направление развивается в Геологическом институте в г. Улан-Удэ (Геннадий Иванович Татьков) во взаимодействии с ИНГГ.

В 1992 г. по инициативе Н.Л. Добрецова и С.В. Крылова совместно с Чан-Чуньским геологическим университетом (ныне в составе Джилинского университета), Шеньянской сейсмологической экспедицией Ляонинского сейсмологического бюро, Сианской второй геофизической экспедицией и Новосибирской опытно-методической экспедицией был проведен трансект «Байкал–Северо-Восточный Китай». Китайский участок по линии «г. Маньчжурия–г. Линьдян–г. Суйфэнхэ» является продолжением ранее проведенного сейсмического маршрута «Усть-Уда–оз. Байкал–г. Чита». Получены данные о строении земной коры и конфигурации Мохо весьма разнородных геологических структур. Увеличенная мощность коры свойственна горно-склачатым районам Большого Хингана (до 44 км) и Восточно-Азиатского краевого пояса (до 40 км). Минимальная мощность коры отмечена под осадочными бассейнами Сунляоской впадины (31–34 км) и Байкальской рифтовой впадины (36 км). Трансект был задуман как начальное звено каркасной сети сводных сейсмических разрезов, соединяющей имеющиеся и планируемые профили ГСЗ посредством единообразной интерпретации сейсмических материалов.

Этот профиль был последним маршрутом, проведенным под руководством С.В. Крылова и при участии многолетнего коллектива сотрудников лаборатории. В трудные 90-е годы после тяжелой болезни ушел из жизни Сергей Васильевич (1997), не стало Владимира Николаевича Сергеева (1995), Ивана Фёдоровича Шелудько (2000) и Геннадия Васильевича Петрика (2001), и многие исследования, связанные с их именами, не удалось продолжить.

В настоящее время значительно увеличился круг исследований, посвященных изучению вещественного состава земной коры, связи ее структуры с напряженным состоянием и сейсмичностью. Членами коллектива расширенной лаборатории глубинных сейсмических исследований и региональной сейсмичности стали специалисты по изучению очагов землетрясений Ольга Анатольевна Кучай и Юрий Николаевич Востриков. Это способствовало получению интересных результатов по сопоставлению наблюдаемых на сейсмических разрезах земной коры полого падающих полосообразных аномалий скорости продольных и поперечных волн с распределением очагов землетрясений в зонах крупных тектонических разломов и надвигов на северо-востоке Байкальской рифтовой зоны и под Байкальской впадиной.

Основными объектами изучения земной коры методом ГСЗ до сих пор являются Якутская кимберлитовая провинция и Байкальская рифтовая зона.

Под руководством В.Д. Суворова, возглавляющего лабораторию с 1997 г., при активном участии Елены Александровны Мельник, работающей в институте с 1999 г. и защитившей кандидатскую диссертацию в 2006 г., был оцифрован весь огромный сейсмический материал ГСЗ по Якутии за период с 1980 по 1995 г. (в оцифровке принимали участие сотрудники лаборатории Людмила Вадимовна Пяллинг, Татьяна Яковлевна Благовидова и Светлана Сергеевна Суханова). Значительная часть этого материала при поддержке Ботуобинской ГРЭ АК «АЛРОСА» переобработана и получен ряд новых результатов. Установлены связи приповерхностных и глубинных структур, выявлен ряд структурных региональных и локальных особенностей в земной коре, связанных с проявлением кимберлитового магматизма. В Байкальской рифтовой зоне изучено строение мощной осадочной толщи под Байкальской и Селенгинской впадинами. В Муйско-Чарском регионе З.Р. Мишенькиной и Б.П. Мишенькиным выделен переходный слой между корой и мантией.

Оглядываясь на путь, пройденный новосибирской школой глубинных сейсмических исследований под руководством Н.Н. Пузырёва и С.В. Крылова в содружестве с ведущими сибирскими производственными организациями, следует отметить, что за сравнительно короткий срок была создана методика сейсмических исследований, включающая одновременное развитие систем наблюдений, аппаратуры и способов интерпретации сейсмических материалов. Это обеспечило получение данных о строении земной коры и верхов мантии на огромной территории. Районы Западно-Сибирской плиты, Байкальской рифтовой зоны, Якутской кимберлитовой провинции и большая часть территории Сибирской платформы, где не было сведений о строении консолидированного фундамента, мощности и структурных особенностей земной коры, относятся сегодня к наиболее изученным сейсмическими методами регионам мира. На основе этих данных построены оригинальные тектонические модели литосферы Сибири, изучены связи приповерхностных и глубинных структур, напряженно-деформированного состояния литосферы с сейсмичностью.

ЛАБОРАТОРИЯ СЕЙСМОЛОГИИ

А.А. Дергачёв, А.Г. Филина, В.Г. Хайдуков

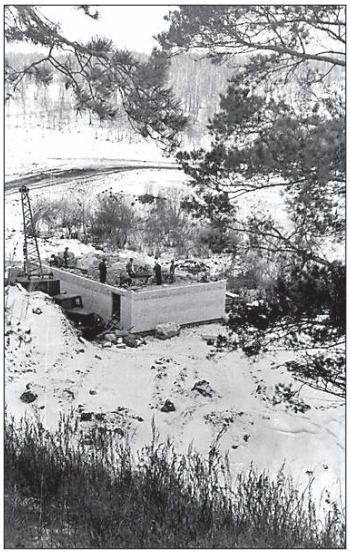
Начальный период формирования лаборатории сейсмологии прошел под общим руководством члена-корреспондента АН СССР Э.Э. Фотиади, который в то время возглавлял геофизический отдел в только что созданном Институте геологии и геофизики Сибирского отделения Академии наук. Эпаминонд Эпаминондович сформулировал основные проблемы и задачи, которые предстояло решать геофизическому отделу, и пригласил соответствующих специалистов, впоследствии ставших крупными учеными в своих областях. Так в 1966 г. для работы был приглашен Валентин Николаевич Гайский, в то время уже известный ученый-сейсмолог, один из первых защитивших докторскую диссертацию в стенах геофизического отдела ИГиГ. Соб-

Шахматный чемпионат ИГиГ. Играет В.Н. Гайский

ственно становление сейсмологии как науки в институте началось с приходом В.Н. Гайского и создания лаборатории сейсмологии. Им были определены основные направления исследований в области сейсмологии.

На начальном этапе основное направление деятельности лаборатории заключалось в создании полноценной сети сейсмических станций для решения задачи сейсмического районирования. В период до 1962 г. сейсмичность территории между Северным Казахстаном и Прибайкальем была изучена совершенно недостаточно. В конце 50-х годов по территории Алтае-Саянского региона был проведен профиль сейсмических наблюдений «Памир–Байкал». Эти работы организовывались КСЭ ИФЗ АН СССР (руководитель — один из столпов отечественной сейсмологии, чл.-кор. АН АрмССР И.Л. Нерсесов) совместно с ИГиГ для изучения строения земной коры региона и оценки региональной сейсмичности. Часть временных станций на профиле послужила ядром будущей сейсмической сети региона. Официальной датой начала ее работы в сейсмической службе СССР принято считать 1962 г. В этот год было установлено четыре постоянно действующих станции: Ельцовка, Усть-Элегест, Чаган-Узун, Усть-Кан.

Сеть входила в состав лаборатории сейсмологии в качестве постоянно действующего полевого отряда и насчитывала в 1979 г., к началу реорганизации сейсмических наблюдений, 8–9 станций. Все сотрудники лаборатории принимали участие в создании сети, но, пожалуй, наибольший вклад был сделан Николаем Демьяновичем Жалковским, Ниной Ивановной Ненилиной, Геннадием Михайловичем и Искрой Дорофеевной Цибульчиками, Андреем Андреевичем Дергачёвым. Необходимо также отметить сотрудника лаборатории Валентина Ивановича Вутянова, который на протяжении длительного времени выполнял основную техническую работу по установке и настройке всех станций с гальванометрической регистрацией. Позднее к нему присоединился, а потом заменил его Михаил Алексеевич Болдырев. Начальниками отряда в разное время были Анатолий Александрович Наумов, Александр Данилович Смирнов, Юрий Иванович Лырчиков, Виктор Трофимович Леонтьев, Александр Михайлович Дитятин.



Строительство сейсмостанции ИГиГ, пос. Ключи. 1964 г.

До начала 90-х годов в регионе функционировали в качестве опорных станций первого и второго класса, входящих в ЕССН (Единую сеть сейсмологических наблюдений СССР), пять станций: Новосибирск, Ельцовка, Усть-Кан, Усть-Элегест, Чаган-Узун. Данные этих станций были представлены в сейсмологическом бюллетене СССР и аналогичных международных изданиях. Сейсмическая сеть Алтае-Саян в формально отведенных ей границах (46,0–56,0° с.ш., 80,0–100,0° в.д.) обеспечивала представительную регистрацию сейсмических событий с энергетического уровня $K_P = 9$. До 2000 г. все станции были оснащены типовой гальванометрической аппаратурой с сейсмодатчиками СКМ-3 с увеличением 40–50 тыс. в интервале периодов 0,25–1,3 с, опорные — вторым комплектом с датчиками СКД с увеличением 1000–1200 в интервале периодов 0,4–17 с. На некоторых станциях в ждущем режиме работала аппаратура для записи сильных движений с усилением 1–10.

Группа камеральной обработки сейсмологических наблюдений сети, которой руководили сначала Н.И. Ненилина, затем И.Д. Цибульчик, а с 1967 г. Альбина Гавриловна Филина, занималась обработкой данных сейсмических станций, оценкой энергии сейсмических событий и их каталогизацией. В разное время в группе работали: Римма Михайловна Озерова, Алла Васильевна Васьковская, Зоря Моисеевна Шерудило, Светлана Гегечкори, Наталья Александровна Сибирякова, Людмила Александровна Говорская, Любовь Ильинична Мишина, Людмила Васильевна Преснякова, Валентина Николаевна Пугачёва, Любовь Васильевна Гофман (Добрецова), Алла Евтихиевна Полякова, Элеонора Андреевна Слепенкова. Работа по формированию регионального каталога землетрясений проводилась в сотрудничестве с сейсмологическими организациями Прибайкалья, Монголии, Казахстана путем регулярного обмена данными и совмещения методик обработки. Региональная сейсмическая сеть полноценно участвовала в составлении ежегодника «Землетрясения в СССР», сборника «Параметры и амплитудно-частотные характеристики сейсмических станций СССР».

Полные данные о состоянии сейсмических сетей Алтае-Саянской области, Прибайкалья, Монголии за 1963–1969 гг. содержатся в публикации «Каталог землетрясений Монголо-Сибирского региона 1963–1969 гг.» (Ред.-коорд. В.М. Кочетков. Новосибирск, 1992. Ч. 1, 2). С 1970 г. издавался «Бюллетень сейсмичности Сибири», затем «Материалы по сейсмичности Сибири» под редакцией С.И. Голенецкого (Иркутск: ИЗК, 1971–1999), в которых приводились ежегодные сводки состояния сейсмических сетей Алтае-Саян, Прибайкалья и Якутии.

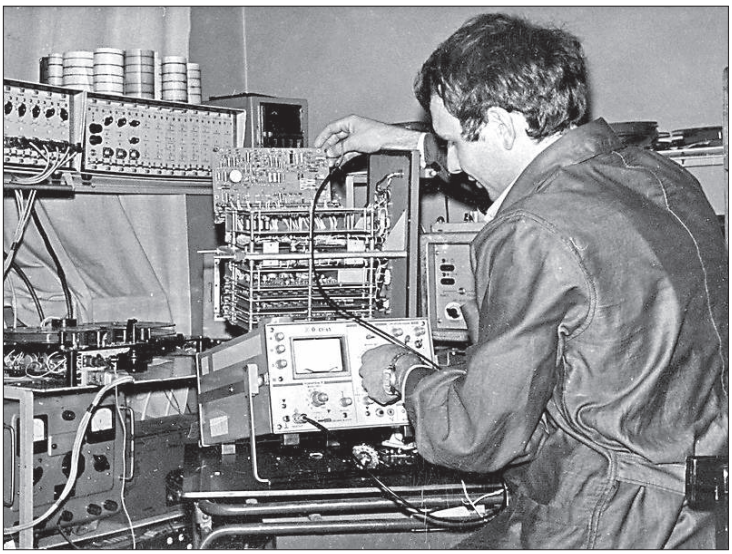
В апреле 1979 г. в процессе общей реорганизации в стране системы геофизических наблюдений в Институте геологии и геофизики была создана Алтае-Саянская опытно-методическая сейсмологическая партия, и все работы по регистрации и обработке данных сейсмологической сети были выведе-

ны из лаборатории. Основными в лаборатории остались научные направления, которые в свое время заложил и развивал В.Н. Гайский.

К одному из важнейших следует отнести изучение сейсмического режима Алтае-Саянского региона. Статистические характеристики сейсмического процесса — основная тема научных интересов В.Н. Гайского, которую он развивал совместно с Н.Д. Жалковским и позднее с Валентиной Ивановной Мучной. Их результатом стал цикл работ, одна из которых — обобщение всех доступных материалов по сейсмичности региона, исправление ошибочных сведений на основе изучения первоисточников: отчетов горно-добывающих предприятий, газетных публикаций и т. п. Составленный каталог землетрясений региона от конца XIX века до наших дней впоследствии вошел в «Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР» (ред. Н.В. Кондорская и Н.В. Шебалин). Они же детально исследовали фундаментальный показатель сейсмического процесса — угол наклона графика повторяемости. Полученный результат свидетельствовал о том, что приведенные во многих исследованиях якобы значимые изменения этого параметра на самом деле являются следствием смещения его оценки за счет неверной методики расчета. Следующим фундаментальным результатом в исследованиях сейсмического режима было доказательство независимости степени активизации области афтершоков и временного затухания их частоты от величины главного толчка. Это в свою очередь означало равновероятность любого сочетания условий, приводящих к землетрясению, в очагах землетрясений разной силы. На основе проведенных исследований в 1998 г. были сформулированы новые представления об очаге землетрясения, имеющие кроме научного существенное практическое значение.

Другое важное направление — изучение микросейсмичности, вызванной как природными, так и техногенными процессами. Микроземлетрясения происходят на небольших глубинах и являются хорошим инструментом для определения физических свойств недр на этих глубинах. Кроме того, эти события несут информацию о напряженном состоянии среды, что очень важно при изучении последствий сооружения крупных промышленных объектов, таких как плотины, и последствий разработки месторождений полезных ископаемых. Следует сказать, что подходящей аппаратуры для таких исследований не существовало, и большой заслугой Владимира Владимировича Жадина и А.А. Дергачёва является то, что они не только создали аппаратуру и методику обработки наблюдений, но и провели исследования на многих объектах в Сибири. Шуточный тост — «Сделаем наши слабые землетрясения самыми сильными», который родился в нашей лаборатории, как нельзя кстати подходит для этой проблематики. Одной из первых кандидатских диссертаций, защищенных на материалах сейсмологических наблюдений, была работа А.А. Дергачёва. В разное время в этой группе трудились Людмила Герасимовна Данциг, Вадим Сенюков, Лидия Алексеевна Грика, Владимир Михайлович Грика, Павел Борисович Бортников.

Не менее важным направлением сейсмологии как с фундаментальной, так и прикладной точек зрения является изучение механики и физики очага землетрясения и особенностей афтершокового процесса, часто сопровождающего главный толчок. Однозначного понимания процессов, происходящих в очаге землетрясения, до сих пор не существует, а господствующей является гипотеза Рейда о разрядке накопленных напряжений и модель Брюна плоского разрыва по круговой дислокации. Свои исследования на основе этой гипо-



П.Б. Бортников в лаборатории сейсмологии. 1985 г.

тезы в разное время проводили Н.Д. Жалковский, И.Д. Цибульчик, Валерий Иннокентьевич Щеглов, Л.Г. Данциг. И.Д. Цибульчик провела первые в регионе исследования параметров механизмов очагов землетрясений и напряженного состояния земной коры. Ею предложены оригинальные методики исследования сейсмичности во времени и их связи с тектоническими условиями. Существует и другая точка зрения на этот предмет, которую развивает Юрий Николаевич Востриков. Это гипотеза объемного источника, так называемого «деформационного взрыва». Она объясняет некоторые противоречия гипотезы плоского разрыва, но пока еще недостаточно обоснованна.

Особое место в работе лаборатории занимали так называемые прогнозные исследования. В начале 70-х годов прогноз землетрясений стал одним из направлений «госзаказа» Академии наук. Исследования сейсмического режима не располагали к оптимизму в этом вопросе, тем не менее все большее число работ по самоорганизации сейсмического процесса и результаты физического моделирования давали некоторую надежду на успех. В области прогноза землетрясений интерес представляют работы И.Д. Цибульчик, которая рассматривала сейсмический процесс как движение фронта разрушения. В условиях реальной земной коры оно создает «узлы» напряженного состояния — прообразы очагов будущих землетрясений. Нельзя не отметить одного из старейших сотрудников лаборатории Светлану Сергеевну Суханову, на протяжении многих лет выполнявшую техническую работу, связанную с вычислениями и оформлением результатов.

Несколько особняком стояла группа исследователей в составе Г.М. Цибульчика и Валерия Григорьевича Хайдукова, которая занималась теоретическими и вычислительными вопросами распространения сейсмических волн, а также проблемами определения строения среды по записям сейсмических волн. Основные интересы этой группы были связаны с вопросами анализа пространственно-временной структуры волнового поля телесейсмических сигналов, зарегистрированных группой станций, с целью изучения строения земной коры; численными расчетами волнового поля лучевым методом; поляризационной и пространственной фильтрацией телесейсмичес-

ких сигналов. Группа работала под идейным руководством Анатолия Семёновича Алексеева, одного из «отцов» обратных задач в геофизике, и в тесной связи с сотрудниками его лаборатории. В.Н. Гайский, не будучи специалистом в этой области и понимая ее важность в геофизике, всячески поддерживал и поощрял это сотрудничество. Позднее, с развитием вычислительной техники и потребностью в развитии методов обращения волновых полей интересы группы переместились в область, связанную с поиском и разведкой месторождений полезных ископаемых с искусственным источником возбуждения сейсмических волн. Алгоритмы и программы построения изображения среды методом продолжения волнового поля, разработанные в нашей лаборатории, были опробованы на реальных данных в ряде экспериментов:

1976 г. — площадная система наблюдений с несколькими взрывными источниками в Гурьевской области. Работы проводились совместно с Сибирской геофизической экспедицией и лабораторией многоволновой сейсморазведки, возглавляемой Н.Н. Пузырёвым;

1977 г. — небольшая площадная система с ударным источником над карстовой пещерой вблизи с. Вановка Киргизской ССР. Работа выполнялась совместно с лабораторией обратных задач сейсмики ВЦ СО АН СССР (рук. А.С. Алексеев) и сейсмическим отделом Казахского филиала ВИРГ (рук. Лев Абрамович Певзнер);

1977–1978 гг. — площадная система наблюдений с вибрационным источником на месторождении полиметаллов в Джизакском районе Узбекской ССР. Работа проводилась совместно с лабораторией обратных задач сейсмики ВЦ СО АН СССР и сейсмической партией Зеравшанской экспедиции (рук. Геннадий Иванович Иванов);

1986–1987 гг. — обработка профильных данных многократного перекрытия треста «Волгограднефтегеофизика» (гл. геолог Виктор Александрович Ермаков) со взрывным источником на рифтовых образованиях Волгоградской области. Работа инициирована академиком Н.Н. Пузырёвым;

1990–1991 гг. — площадная система наблюдений с четырьмя взрывными накладными источниками на одном из полиметаллических месторождений Узбекистана. Работа выполнялась совместно с лабораторией многоволновой сейсморазведки (отв. Владимир Александрович Куликов) и сейсмической партией Зеравшанской экспедиции.

Наиболее значимыми являются результаты последних трех работ. Исследуемые районы были хорошо разбурены, и результаты обработки достаточно хорошо коррелируют с геологическими данными.

С самого начала организации лаборатории ежегодно проводились сезонные полевые работы локальными группами временных сейсмических станций с использованием различных типов аппаратуры. Причем в этих полевых работах принимали участие, как правило, большинство сотрудников лаборатории, независимо от их специализации, и делали это они не без удовольствия.

Сделаем краткий экскурс в проведенные исследования.

1963 г. ХМАО, Сургут, пос. Белый Яр. По предложению Н.Н. Пузырёва изучалась возможность сейсмической активизации регионального субмеридионального разлома. Использовалась гальванометрическая аппаратура с сейсмоприемниками УСФ. Нач. отряда Анатолий Николаевич Якобсон.

1964–1965 гг. Граница Новосибирской области и Алтайского края (с. Каменушка, с. Столбово). Наблюдения в эпицентральной зоне Каменских зем-

летрясений. Использовалась аппаратура с записью на магнитной ленте «Земля» разработки «ВНИИГеофизика» (изготовлена на Опытном заводе СО АН СССР) с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отрядов А.Н. Якобсон, В.В. Жадин.

1966 г. Новосибирская область, Ключевской полигон, Бердский залив. Экспериментальные работы по регистрации обменных волн. Использовалась аппаратура «Земля» с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отряда В.В. Жадин.

1967–1968 гг. Тува, пос. Мугур-Аксы. Определение распределения глубин очагов и исследование повторяемости слабых землетрясений. Использовалась гальванометрическая аппаратура с усилителями и сейсмоприемниками СКМ, а также аппаратура «Земля» с сейсмопримниками ВЭГиК. Нач. отрядов Н.Д. Жалковский, А.А. Дергачёв. Надежно определены глубины землетрясений, используемые и по настоящее время.

1969 г. Алтайский край, с. Алтайское. Изучение пространственно-временной структуры волнового поля телесейсмических сигналов. Село Волчиха: регистрация удаленных землетрясений для определения параметров осадочного чехла и фундамента. Использовалась гальванометрическая аппаратура с сейсмоприемниками СКМ. Нач. отряда Г.М. Цибульчик.

1970 г. Казахстан, пос. Боровое. Изучение сейсмических шумов Земли. Использовалась аппаратура с записью на магнитной ленте «Регион» разработки Института геологии и геофизики (изготовлена на Опытном заводе) с модернизированными сейсмоприемниками СКМ. Нач. отряда А.А. Дергачёв.

1971 г. Кемеровская область, с. Красное. Изучение сравнительных характеристик промышленных взрывов и землетрясений. Использовалась аппаратура «Регион» с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отряда А.А. Дергачёв.

1972–1974 гг. Бурятия, Баргузинский район. Определение глубин очагов, механизмов местных землетрясений; оценка добротности земной коры и верхней мантии. Использовалась аппаратура «Регион» с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отряда А.А. Дергачёв.

1976–1978 гг. Бурятия, Северо-Муйский тоннель БАМа. Изучение сейсмического режима района строительства тоннеля. Использовалась аппаратура «Регион» с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отряда А.А. Дергачёв.

1979 г. Иркутская область, Даванский тоннель БАМа. Изучение сейсмического режима района строительства тоннеля. Использовалась аппаратура «Регион» с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отряда Л.А. Грика.

1980 г. Алтайский край, Чемал. Определение глубин очагов, механизмов местных землетрясений. Использовалась аппаратура «Регион» с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отряда Л.А. Грика.

1981 г. Кемеровская область, с. Бачаты, с. Урск. Изучение затухания сейсмических волн от промышленных взрывов на близких расстояниях. Использовалась аппаратура «Регион» с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отряда Л.А. Грика.

1982 г. Новосибирская область, Ключевской полигон, Казачья грива. Изучение природных и техногенных микросейсм в связи с предполагаемым строительством 15-километрового линейного ускорителя. Использовалась гальванометрическая аппаратура с сейсмоприемниками СКД и аппаратура «Регион» с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отряда А.А. Дергачёв.

1983–1984 гг. Кемеровская область, Таштагол. Исследование «мягкого» и «жесткого» сейсмического излучения при проведении горных работ на же-

лезорудном руднике. Использовалась аппаратура «Регион» с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отряда Л.А. Грика.

1985 г. Алтайский край, пос. Курай. Определение глубин очагов, механизмов местных землетрясений. Изучение распределения в пространстве очагов слабых землетрясений. Использовалась аппаратура «Регион» с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отряда Л.А. Грика.

1986–1988 гг. Участие в работе советско-монгольской экспедиции. Выбор и открытие новых сейсмических станций. Оснащение их гальванометрической аппаратурой с сейсмоприемниками СКМ. Нач. отряда Александр Михайлович Дитятин.

1989 г. Кемеровская область, Таштагол. Изучение афтершоков Таштагольского землетрясения (1988). Использовалась аппаратура «Регион» с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отряда В.М. Грика.

1990–1991 гг. Хакасия, пос. Верх-База. Изучение местной сейсмичности на левобережной территории водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС. Использовалась аппаратура «Регион» с сейсмоприемниками ВЭГиК. Нач. отряда В.М. Грика.

1990–1992 гг. Хакасия. Создание локальной сейсмической сети в районе гидроузла Саяно-Шушенской ГЭС для изучения местной сейсмичности. Использовалась гальванометрическая аппаратура с сейсмоприемниками СКМ. Нач. отряда Михаил Александрович Болдырев.

За весь период инструментальных наблюдений после сильных землетрясений в регионе, как правило, организовывались отряды для обследования эпицентральных зон.

Наиболее сильные землетрясения Алтае-Саянского региона:

1970 г., район оз. Урэг-Нур (Монголия), $K_P = 16$, магнитуда 7;

1990 г., район оз. Зайсан (Казахстан), $K_P = 16$, магнитуда 6,9;

1991 г., район оз. Хубсугул (Монголия) (Бусингольское), $K_P = 16$, магнитуда 6,5;

2003 г. Республика Алтай (Чуйское), $K_P = 17$, магнитуда 7,5.

Урэг-Нурское землетрясение 15 мая 1970 г., почти такой же силы, как Чуйское 27 сентября 2003 г., но произошедшее в малонаселенном районе Северной Монголии, вблизи оз. Урэг-Нур, стало большим событием для всей лаборатории. Прежде всего это было первое землетрясение в регионе с таким большим числом повторных толчков (афтершоков). И следует отдать должное всей женской части лаборатории, которая ценой неимоверных усилий, дрожа от напряжения, как сказал бы герой известного кинофильма, все-таки справилась с их обработкой. На обследование макросейсмики сразу же выехала группа исследователей в составе геофизиков В.Г. Хайдукова, В.И. Щеглова и сотрудника одной из геологических лабораторий института Владилена Васильевича Параева.

Здесь мы позволим себе небольшое сейсмолирическое отступление. Экспедиция собиралась в экстренном порядке и была, прямо скажем, не слишком хорошо подготовлена. Отсюда и холод в брезентовом кузове ГАЗ-66 на Саянских перевалах, где в это время стояла еще настоящая зима, и блуждание без карты в монгольских сопках, и многократные нарушения государственной границы. Благо, что пограничники и местное начальство, напуганные нечастым природным явлением, не слишком строго отнеслись к нарушениям сейсмоисследователей. Транскрипции необходимых вопросов для оценки балльности на монгольском языке у нас, конечно, были, но когда,

в очередной раз заблудившись, мы в отчаянии по-русски спрашивали у встретившегося монгола на верблюде: «Это Монголия или СССР?», он, ничего не понимая, разводил руками или махал головой. Тем не менее, несмотря на все наши мытарства, карта макросейсмики была составлена, а научный отчет, благодаря литературным наклонностям В.И. Щеглова, приобрел некую форму, порой напоминающую художественное произведение. Фраза «Коровы мычали, плакали верблюды...» из него стала исторической и долго жила в нашей лаборатории.

Результаты исследований сотрудников лаборатории представлены в сотнях публикаций, на международных, всесоюзных, российских симпозиумах, конференциях, совещаниях, в советах наук о Земле и т. д.

В заключение хочется сказать еще несколько слов о первом заведующем лаборатории сейсмологии Валентине Николаевиче Гайском, чей портрет первым появился на мемориальной стене нашего института в 1975 г.

Сын известного бактериолога Н.А. Гайского, репрессированного, но впоследствии ставшего лауреатом Сталинской премии и работавшего в последние годы жизни зам. директора противочумного института в г. Иркутске. Валентин Николаевич был участником Великой Отечественной войны и после пребывания на фронте некоторое время учился в МГУ. Затем окончил физический факультет Иркутского госуниверситета и был учеником А.А. Трескова — патриарха сибирской сейсмологии. Его докторская диссертация была посвящена сейсмическому режиму сейсмоактивных областей. Как уже говорилось, с приходом В.Н. Гайского в ИГиГ определились основные направления исследований в области сейсмологии. Для усиления некоторых направлений им были приглашены молодые специалисты, только что окончившие НГУ. Разнообразие научных интересов, неординарность мышления характеризовали лицо нашей тогдашней команды. Как нам тогда казалось (отчасти это так и было), В.Н. Гайский был излишне осторожен. По-видимому, этому способствовали его партийность и нелегкая судьба семьи. Стимулируя и подталкивая сотрудников к новым подходам, он в то же время был весьма осторожен, когда речь шла о публикации результатов. Но это не мешало нам искренне уважать своего шефа. В житейском плане он относился к нам как старший брат или даже как отец: старался, чтобы мы развивались не только в науке, но и в личностном плане. Помнится, приезжал в Новосибирск на гастроли Московский театр им. Маяковского. Билеты достать было невозможно, и вдруг Валентин Николаевич предлагает нам несколько билетов, да и не на один спектакль! Мы иногда по молодости и бесшабашности злоупотребляли его добрым отношением. Так, однажды, когда Н.Н. Пузырёв был в Москве по вопросу организации Института геофизики, В.Н. остался его замом по отделению геофизики. И вот 1 апреля мы составили телеграмму якобы от имени Николая Никитовича с просьбой В.Н. Гайскому приехать в Москву по этим же делам. Валентин Николаевич тут же пошел к А.А. Трофимуку за согласием на командировку. Тот, тоже не заметив подделки, сказал, что двоим там вроде бы делать нечего. А мы, осознав, что шутка может плохо закончиться, срочно побежали в бухгалтерию с просьбой не оформлять командировку. Узнав о розыгрыше, В.Н. Гайский его оценил, или по крайней мере сделал вид, но сообщил при этом, что если бы командировку оформили, он бы нас уволил. Он был человеком практически непьющим, но

никогда особенно не препятствовал лабораторным «междусобойчикам» по важным и не очень поводам. Однако старался контролировать, чтобы не было откровенного безобразия. Иногда, когда под вечер дело доходило до казенного спирта и мы закрывались в комнате, думая, наподобие страуса, что нас никто не увидит и не услышит, раздавался стук в дверь. Все замирали, а голос Валентина Николаевича предлагал: «Ну откройте, я ведь знаю, что вы здесь».

В.Н. Гайский был человеком эрудированным и отличным организатором науки. К сожалению, после его преждевременного ухода в команде не нашлось лидера такого же уровня, и постепенно начался процесс дезинтеграции, который еще более усилился после передачи «наблюдательной» части сейсмологии в другую структуру. В результате в настоящее время имеем то, что имеем — различные проблемы сейсмологии решаются в разных подразделениях института, а лаборатории сейсмологии фактически не существует.

ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Ю.И. Колесников

В начале 2001 г. в Институте геофизики было создано новое подразделение — лаборатория инженерной сейсмологии, которую возглавил Ю.И. Колесников. Специфика лаборатории состояла в том, что ей изначально отводилась роль связующего звена между Институтом геофизики и Геофизической службой СО РАН, которая к этому времени проводила основной объем сейсмологических исследований в Сибири. Это проявилось в том, что в первые годы научное руководство лабораторией осуществлялось совместно директором ИГФ СО РАН академиком С.В. Гольдиным и директором ГС СО РАН В.С. Селезнёвым.

Изначально основные исследования в лаборатории предполагалось вести по двум направлениям: первое — развитие методики обследования зданий и сооружений с использованием стоячих волн, возникающих в исследуемых объектах в результате воздействия на них микросейсм, и второе — лабораторные исследования сейсмических свойств грунтов в зависимости от их напряженно-деформированного состояния. Однако уже в первые годы существования лаборатории акцент в исследованиях, во многом благодаря инициативе С.В. Гольдина, стал смещаться в сторону большой сейсмологии. В дальнейшем (в 2006 г.) это нашло отражение в названии лаборатории — она стала называться лабораторией экспериментальной сейсмологии.

Логическим продолжением этого процесса стало создание в ближайшем к Новосибирску сейсмически активном регионе — Алтае-Саянской горной области — Алтайского сейсмологического полигона, базовыми станциями которого были выбраны сейсмостанции «Акташ» и «Артыбаш». Работы по формированию полигона велись лабораторией совместно с Алтае-Саянской опытно-методической сейсмологической экспедицией (в последующем Алтае-Саянским филиалом) ГС СО РАН, в ведении которой находилась регио-

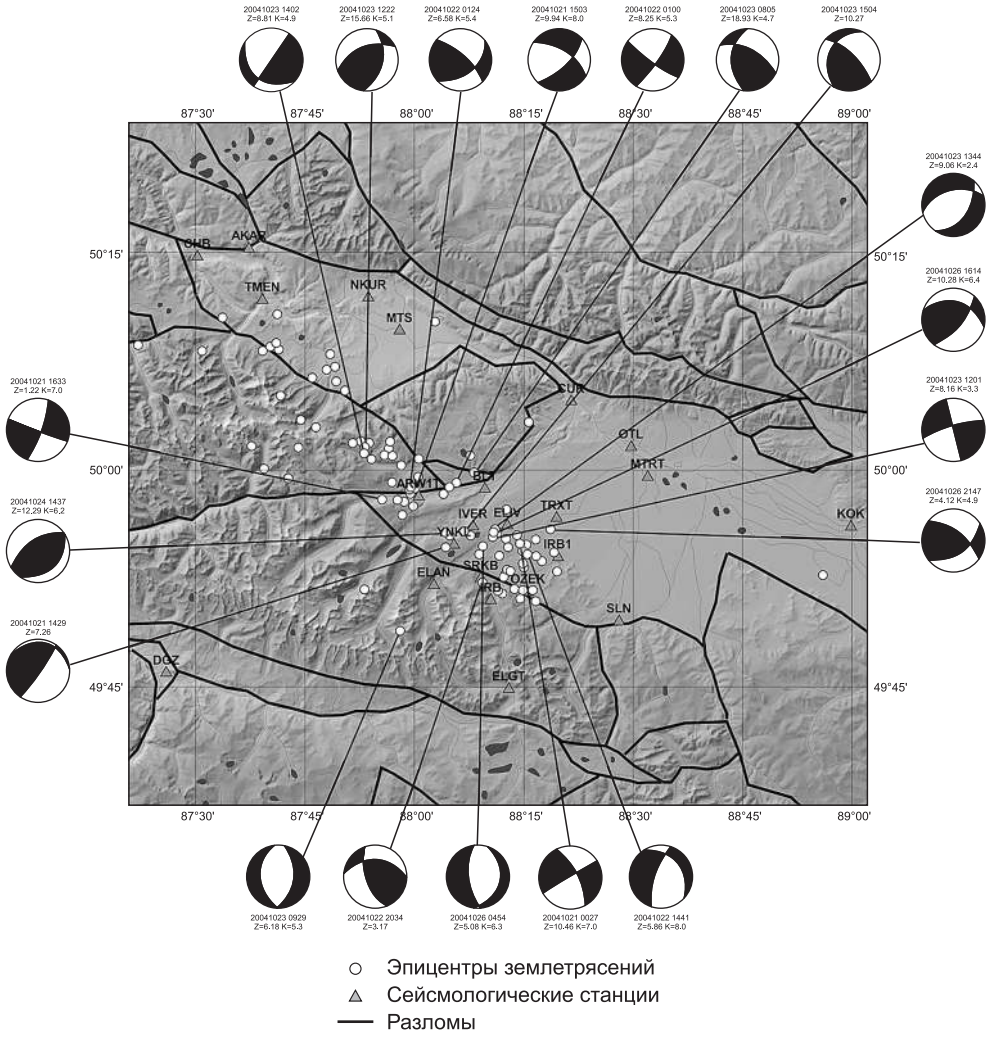
нальная сеть сейсмологических станций, включая упомянутые выше базовые станции. Все сейсмологические наблюдения в данном регионе в дальнейшем выполнялись совместно сотрудниками лаборатории и Алтае-Саянского филиала ГС СО РАН под руководством Александра Фёдоровича Еманова.

Уже в 2002 г. были проведены первые в Горном Алтае сейсмологические наблюдения по изучению землетрясений малых энергий с временной сетью сейсмологических станций. Автономные цифровые станции, установленные в районе Курайского хребта, позволили существенно сгустить сеть наблюдений и исследовать слабую сейсмичность в этом районе. Летом 2003 г. исследования были продолжены. Удивительно, что именно в этом районе, в нескольких десятках километров от пос. Акташ, 27 сентября 2003 г. произошло крупнейшее за период инструментальных наблюдений в Алтае-Саянской горной области Чуйское (Алтайское) землетрясение ($M_s = 7{,}3$). Уже через неделю здесь вновь была развернута сеть временных станций, и такие наблюдения в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения в последующем проводились ежегодно, что позволило детально изучить афтершоковый процесс и сопоставить его со слабой сейсмичностью непосредственно перед землетрясением.

Наблюдения с автономными станциями осуществляются в основном силами молодых сотрудников лаборатории совместно с сотрудниками АСФ ГС СО РАН. Если в первых экспедициях работы велись с небольшим числом станций (шесть-восемь), обеспечивающих непрерывную запись в течение одной-двух недель, то к 2009 г. усовершенствование аппаратурной базы и методики позволило проводить непрерывные сезонные наблюдения в течение нескольких месяцев на сетях из двадцати-тридцати временных станций.

Кроме сейсмологических наблюдений, экспериментальная деятельность лаборатории включает исследования сейсмических свойств грунтов, в том

Установка временной автономной сейсмологической станции



Эпицентры и механизмы очагов землетрясений, зарегистрированных по данным временной сети автономных сейсмологических станций в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения осенью 2004 г.

числе под действием разрушающих нагрузок, а также физическое моделирование сейсмических волновых явлений. Еще одним направлением работ лаборатории стала разработка программно-алгоритмического обеспечения для обработки данных активных и пассивных сейсмических наблюдений, в том числе новых алгоритмов нелинейной и сейсмоэмиссионной томографии, спектрального и поляризационного анализа микросейсмического поля.

Наряду с ГС СО РАН лаборатория сотрудничает и с другими научными организациями: Институтом геологии и минералогии СО РАН (проблемы геодинамики), Институтом земной коры СО РАН и Институтом физики Земли РАН (большая сейсмология), Институтом горного дела СО РАН (проблемы техногенной сейсмичности), Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (микросейсмические исследования), Институтом физики и механики горных пород НАН КР (оползневая тематика).