



НАУКА И ЖИЗНЬ

ISSN 0028-1263

I

2023

● Современная циклическая космология.

Революция в науке?

● Озеро Байкал — эльдорадо для учёных, особенно для биологов

● С. А. Тихоцкий, член-корреспондент РАН: Создание отечественного геофизического оборудования и программного обеспечения — задача номер один ● Да будет свет! Тем или иным способом.



В Н О М Е Р Е :

Н. ГОРЬКАВЫЙ — Цикличность Большого взрыва	2
А. ПОНЯТОВ, канд. физ.-мат. наук — Революция или нет?	11
Рефераты (подготовил Л. Ашкинази)	14
Девять значимых событий 2022 года в биологии и медицине (материал подготовил К. Стасевич)	16
О чём пишут научно-популярные журналы мира	28
С. ТИХОЦКИЙ, чл.-корр. РАН — Геофизика: новые задачи и возможности (записала Н. Лескова)	34
Бюро иностранной научно-технической информации	46
М. ТИМОФЕЕВ, докт. биол. наук — Неизведанный Байкал (беседу ведёт Н. Лескова)	50

Специфика экосистемы озера заключается в том, что в этой огромной толще воды есть две неравные зоны. Первая — так называемая фотическая зона, туда проникает свет, благодаря чему происходит цветение мельчайших водорослей и высших водных растений, образуется первое органическое вещество — так называемая первичная продукция. В этой зоне обитает множество организмов, питание которых завязано на эту первичную продукцию. Глубина её максимум 40–50 метров.

Если же мы пойдём глубже, то попадаем в зону сумрака и далее в зону полной тьмы. Это вторая зона — афотическая, куда свет не проникает...

Вести из лабораторий

Плавник как оптическое окно (65). Позднее отцовство может влиять на здоровье детей (66).

В. ФЁДОРОВ, канд. геогр. наук — Солнце меняет климат	68
Л. АШКИНАЗИ, Н. СЯНОВА — Что видим? Нечто странное! Защита от... ..	80, 130

«УМА ПАЛАТА»

Познавательный-развивающий раздел
для школьников

А. СДОБИНА — Прогулка вокруг марсианских вулканов (81). М. АБАЕВ, канд. хим. наук — Стекло под ногами, или Как дневной свет попал в подвал (89).

Наука и жизнь сто лет назад	95
В. МАКСИМОВ, канд. филол. наук — Из истории фамилий	96
Н. ЕСИПОВИЧ — В траве сидел кузнечик... певчий	100
И. СОКОЛЬСКИЙ, канд. фармацевт. наук — Битый, дутый, воздушный	107
Кунсткамера	110
А. ПЕРВУШИН — Наука о чужих. Жизнь и разум во Вселенной. I. Братья по разуму	112
Маленькие хитрости	126
Ответы на кроссворд с фрагментами	127
Кроссворд с фрагментами	128
А. СТОЛЯРОВ — Продам конец света (фантастическая повесть, начало)	132
Ю. ФРОЛОВ — Ходячие уличные фонари	142

НА ОБЛОЖКЕ:

1-я стр. — Эндемики Байкала — рачки амфиподы *Parapallasea borowskii* в процессе спаривания. Жизнь продолжается! Фото Ксении Верещагиной, НИИ биологии Иркутского государственного университета. (См. статью на стр. 50.)

Внизу: Для оценки сейсмических рисков важны данные о палеоземлетрясениях, происходивших в глубокой древности. Такие данные получают в ходе полевых исследований геологических структур и затем на их основе проводят реконструкцию напряжений в земной коре. На фото — исследования в долине реки Чуя на Алтае. Фото представлено ИФЗ РАН. (См. статью на стр. 34.)



НАУКА И ЖИЗНЬ®

№ 1

Я Н В А Р Ь

2023

Журнал основан в 1890 году.

Издание возобновлено в октябре 1934 года.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЙ ЖУРНАЛ

Фото Андрея Лисинского
из серии «Белые этюды».

ГЕОФИЗИКА: НОВЫЕ ЗАДАЧИ И ВОЗМОЖНОСТИ

Член-корреспондент РАН Сергей ТИХОЦКИЙ,
директор Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта.

Институт физики Земли, один из старейших и известнейших в системе Академии наук, носит имя знаменитого исследователя полярных земель Отто Юльевича Шмидта. Часто спрашивают — почему?

Сразу следует сказать, что Отто Юльевич — это человек, масштаб личности которого до сих пор мало кем понимаем, он намного крупнее, чем просто исследователь полярных земель. Шмидт начинал как математик, алгебраист, создал кафедру высшей алгебры на мехмате МГУ. Занимался организацией науки и обра-

зования, в частности в 1920-х годах был главой Государственного издательства — учебная, просветительская литература в тогдашней Советской России, Советском Союзе появилась в значительной степени трудами Шмидта. Затем очень много времени и сил он действительно посвятил исследованию Арктики, в частности Северного морского пути. Помимо знаменитых полярных экспедиций, на Севере было много и другой организационной работы, например, создавались полярные станции, и в этом тоже была заслуга Отто Юльевича.

Но занятий наукой Шмидт никогда не оставлял. В 1938 году он создал Институт теоретической геофизики (ИТГ), где развивался весьма широкий круг идей как фундаментального, так и вполне прикладного плана. Основное же детище Отто Юльевича в области геофизики — современная «холодная» космогоническая гипотеза, получившая своё оформление в 1940-е годы. Согласно гипотезе Шмидта, в отличие от ранее господствовавшей «горячей» теории Лапласа, планеты формируются из холодного газопылевого облака, частицы которого, сталкиваясь друг с другом, объединяются в скопления — протопланеты — вследствие гравитационной аккреции. Разогрев Земли и планет возникает, в основном, в результате превращения механической энергии в тепловую при этих столк-

новениях. Сейчас космогоническая теория Шмидта является общепринятой и блестяще подтверждается астрономическими открытиями экзопланет и протопланетных систем.

После объединения в 1946 году Института теоретической геофизики и Сейсмологического института АН СССР был создан Геофизический институт Академии наук — ГЕОФИАН, директором которого стал Шмидт, а наш институт позже стал преемником ГЕОФИАНа. Отто Юльевич к тому времени был, к сожалению, тяжело болен — у него развивался туберкулёз в неизлечимой на то время форме. Однако он успел создать школу. ИФЗ РАН по

сей день продолжает заниматься развитием космогонической теории, отрабатывая её конкретные детали, и по праву носит имя Отто Юльевича Шмидта.

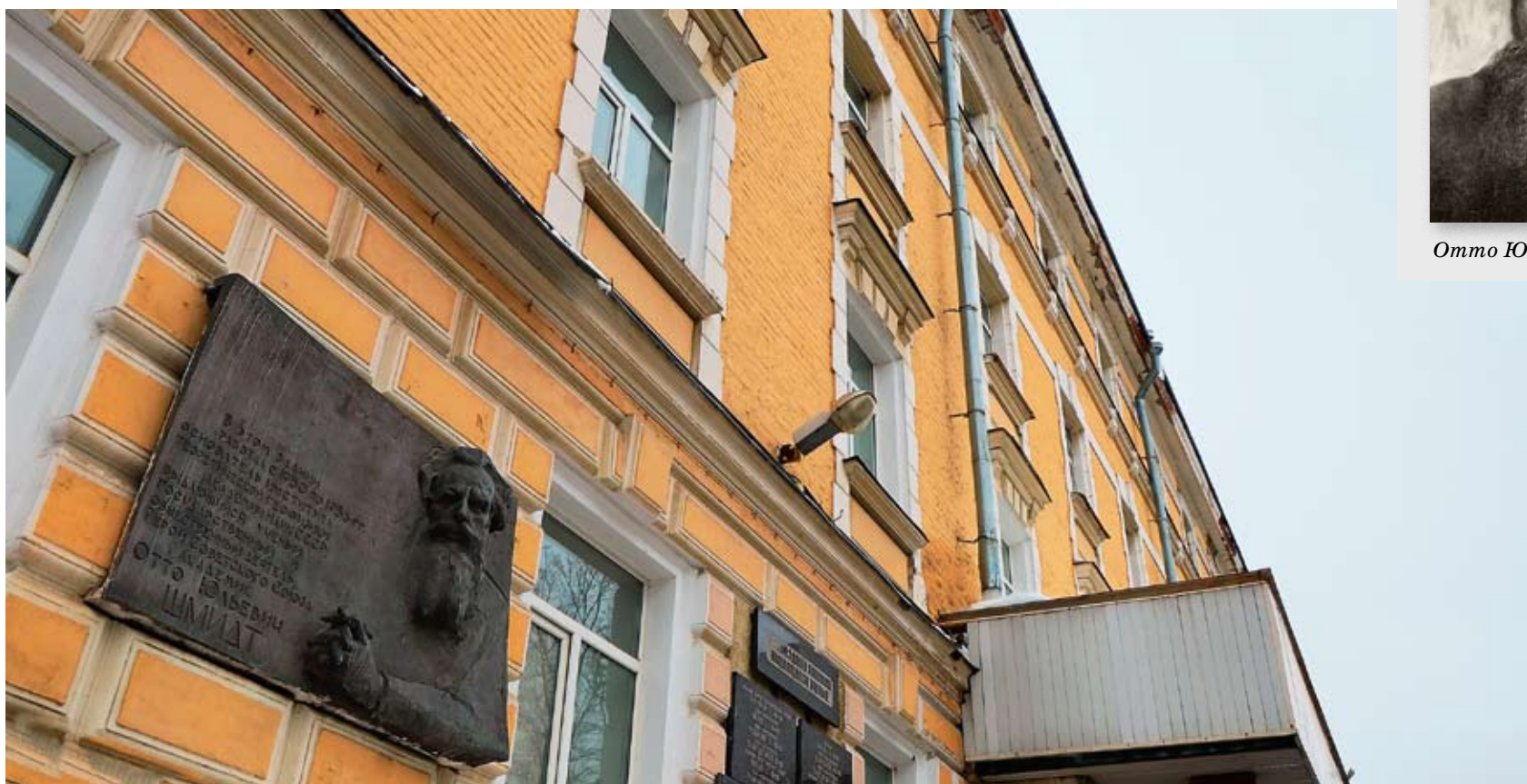
Надо сказать, огромная заслуга Отто Юльевича ещё и в том, что он умел создавать сильные команды, работающие на достижение цели. Он приглашал в институт людей самых разных специальностей — как математиков и физиков, так и геологов. Наши за-

мечательные математики Сергей Львович Соболев и Владимир Иванович Смирнов (в будущем — академики) создали теорию функционально-инвариантных решений, послужившую основой для сейсмологии и сейсмического метода разведки, которые по сей день являются главным поставщиком информации о строении недр. И практически одновременно геофизик Григорий Александрович Гамбурцев, тоже будущий академик, разработал, в том числе с использованием этого математического аппарата, уже практические методы разведки на преломлённых и отражённых волнах.

В те годы временной промежуток между теоретической разработкой и её практи-



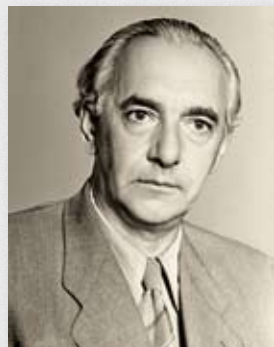
Отто Юльевич Шмидт.



ческим применением был очень мал (нам сейчас следует работать так же). И уже в 1930—1940-е годы прошлого века Гамбурцев, с 1949 года — преемник Шмидта на посту директора Института, с использованием только что созданных методов начал активную разведку Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, которую стали называть «вторым Баку». Гамбурцев сам ездил в экспедиции, сам занимался полевой работой, смотрел за приборами и одновременно оставался крупнейшим физиком и теоретиком в области геофизики.

Разведка и разработка этих месторождений сыграла колоссальную роль в обеспечении топливом промышленности и армии в годы Великой Отечественной войны и в послевоенном восстановлении нашей страны. Да и по сей день добыча нефти в этой области имеет важнейшее экономическое значение. Так что наш Институт занимается не только фундаментальными исследованиями, но и напрямую причастен к освоению недр, развитию промышленности и во многих отношениях, не только в области сейсморазведки, может считаться колыбелью разведочной и прикладной геофизики.

Особенность нынешнего момента в том, что геофизика находится на этапе настоящей научно-технической революции. Методы геофизической разведки, о которых я рассказывал, были созданы преимущественно до 1960-х годов, с расчётом на применение в ту эпоху, с её вычислительными мощностями (а главной среди них был арифмометр), что требовало целого ряда приближений. Это очень непросто — сделать такие упрощения и аппроксимации правильно, не исказив основные особенности явления в рамках принятого приближения, — искусство физика во многом состоит именно в том, чтобы правильно оценить, какие чле-



*Григорий
Александрович
Гамбурцев.*

ны в уравнении являются «малыми» и при каких условиях. В частности, классические методы сейсморазведки построены на так называемом лучевом приближении, когда длина волны предполагается значительно меньшей, чем размер неоднородностей в среде. Это хорошо работает, пока слои «толстые», то есть мощность слоя много больше длины волны, и эти слои квазиоднородны по своим свойствам. Классические методы блестяще решают задачи поиска

крупных месторождений структурного типа, когда ловушки углеводородов представляют собой выгнутые вверх складки и нефть, которая легче воды, скапливается в верхней части свода, — так что можно обнаружить структуру, пробурить и получить углеводороды.

Однако подобных месторождений больше не осталось. Крупные месторождения углеводородов исчерпаны, и сейчас, для того чтобы вести поиск рентабельных к разработке месторождений, нужно исследовать маломощные, высоконеоднородные коллекторы*, где ловушки не являются структурными. Там очень сложная геология, где всё перемято в складки с разрывными нарушениями, и прежними методами в гетерогенной среде такие задачи решаются плохо. Аналогичные задачи возникают и при поиске и разведке месторождений твёрдых, в том числе — стратегически важных, полезных ископаемых: металлов, алмазов. Сейчас нам необходимы методы, которые учитывают полную физику распространения упругих волн в гетерогенных средах. Переход к таким методам происходит, но идёт он не очень просто. Многие теоретические наработки были сделаны уже в советское время, в частности — в сибирской научной школе, но их надо довести

* Коллекторы — горные породы, обладающие способностью вмещать нефть, газ и воду и отдавать их при разработке.

до практического применения. То есть нужно не просто создать метод, который физически правильно описывает сложную среду, нужно сделать продукт, удобный для пользователя.

И здесь, скажу попутно, существует серьёзная проблема — повышение квалификации и обучения геофизиков. Учебные планы геофизических специальностей во многом отстают от реальной жизни. В образовании это неизбежно, но в нашей отрасли особенно заметно. Для того чтобы готовить геофизиков сегодняшнего и тем более завтрашнего дня, надо существенно расширять как фундаментальную физикоматематическую, так и практическую подготовку в области IT-технологий. Сейчас мы активно привлекаем к работе выпускников ведущих физико-технических вузов. Вообще, для ИФЗ РАН сотрудничество с университетами, высшей школой — одна из главных традиций.

Но, так или иначе, мы переходим к решению новых задач, описывающих физику распространения волн в сложных средах. Во многом аналогичная ситуация и по другим геофизическим методам — в геоэлектрике, в изучении аномальных полей Земли, этим мы также занимаемся

в Институте. Новые задачи диктуют необходимость создания новых методов и технологий.

Если до начала XX века в геофизике царствовала эпоха «поиска и разведки», то сейчас наступила эпоха мониторинга. Крупных месторождений углеводородов уже мало, а те, что есть, характеризуются трудноизвлекаемыми запасами. Они содержат коллекторы, обладающие низкой проницаемостью, и чтобы выкачать оттуда нефть, нужно применять специальные методы, например, гидроразрыва пласта, кислотной обработки, парогазового воздействия и так далее. Поэтому надо развивать методы, повышающие эффективность разработки таких месторождений, и мы этим занимаемся. Но с точки зрения геофизики не менее важен мониторинг. По оценкам норвежских специалистов, до половины всей нефти, добытой в Северном море с середины 1990-х годов, было добыто исключительно за счёт оптимизации разработки на основе непрерывного сейсмического мониторинга. Дело в том, что любая модель (в частности, модель месторождения) всегда ущербна, это всегда некая приближённая аппроксимация среды, и в процессе разработки,



Современной геофизике при изучении горных пород и минералов не обойтись без электронного микроскопа. Исследование проводит Татьяна Багдасарян.



Отбор палеомагнитных образцов в Магаданской области. На фото — кандидат геолого-минералогических наук Александр Пасенко.



Для изучения магнитных свойств горной породы образцы размагничивают переменным магнитным полем и затем измеряют остаточную намагниченность с помощью демагнетайзера LDA-5. Исследования проводит Александр Пасенко.

вследствие объективной неполноты знаний, всегда что-нибудь пойдёт не так. Необходимо отслеживать, куда будет мигрировать нефть, не начнёт ли она скапливаться в каких-то неразбуренных ловушках, не отсечём ли мы залежи, не обводним ли их, закачав слишком много воды, не активизируются ли разломы. Для

того чтобы сложная техническая система работала эффективно и давала максимум, нужен постоянный мониторинг.

Тут важно понимать ещё один момент. Новое месторождение — это хорошо, но это всегда новые трубы, новые заводы, новая логистика. Если месторождение старое и с него можно добыть ещё столько же нефти, сколько уже добыли, то экономически это значительно более выгодно. Поэтому задача мониторинга разрабатываемых месторождений выходит на первый план. Я сейчас говорю на примере нефти и газа, но на самом деле всё сказанное актуально и для других полезных ископаемых — в частности, для добычи алмазов, руд. Но у мониторинга есть свои особенности.

Мониторинг — совсем не то же самое, что сейсморазведка. Сейсморазведка или другие геофизические исследования — это работа в течение полевого сезона: приехали, поставили измерительную систему, собрали данные и уехали. Мониторинг же должен продолжаться десятилетиями, на протяжении всего времени жизни месторождения. Более того, мониторинг в идеале должен вестись даже не просто периодически (раз в два-три года, так называемая 4D-сейсмика), а непрерывно. Например, когда используется метод гидроразрыва пласта, то чрезвычайно важно, чтобы трещина пошла в нужном направлении. И дело не только в экономической эффективности, есть и экологический аспект: если произойдёт прорыв покрышки и трещина перейдёт в водоносный пласт, то туда попадут углеводороды, что крайне нежелательно. Поэтому надо «слушать» процесс гидроразрыва и разработки в целом в пассивном режиме, не снимая систему мониторинга.

Значит, нам нужны системы, которые могут длительное время стоять на одном месте и не будут съедены коррозией, не требующие большого энергопотребления, а если мы говорим о морских месторождениях, то они должны быть установлены под водой. Ни одна компания в мире не производит подобные системы на продажу. Есть компании, готовые поставить систему для конкретного месторождения и осуществлять её обслуживание, но, оче-

видно, не на российских месторождениях. Поэтому с небывалой остротой встаёт вопрос: как мы будем такой мониторинг проводить?

В эпоху мониторинга мы только вступаем. В мире она началась в середине 1990-х годов, когда стало ясно, что это экономически эффективно. Понимание, что мониторинг необходим, уже есть, но как его реализовать на практике? Есть разные подходы. Сейчас активно, во всём мире, развивается направление, где наша наука и промышленность имеют все шансы найти собственное, оригинальное решение и занять лидирующие позиции. Это системы, где в качестве датчика деформаций или колебаний используется оптическое волокно (см. статью «Оптические кабели на службе у сейсмологов: технология DAS», «Наука и жизнь» № 12, 2022 г. — **Ред.**). Обычное оптоволокно, которое сейчас проложено в каждом доме, где есть интернет.

Оптическое волокно при деформировании в результате воздействия сейсмической волны меняет коэффициент преломления. Существует метод, позволяющий на основе рассеяния лазерного луча реконструировать деформацию волокна и тем самым получить запись сейсмической волны. Само по себе оптическое волокно относительно дешёвое, производство его налажено, у нас в стране его выпускает целый ряд предприятий. Наиболее технически сложно конечное устройство, осуществляющее анализ сигнала — лазерный рефлектометр, но его также производят в России. В ряде вузов и научных центров, в частности в МФТИ, разработаны оригинальные конструкции, обладающие такими преимуществами, сравнительно с мировыми аналогами, которые позволяют достичь высокого качества сейсмической записи. Это открывает потрясающие возможности. Один рефлектометр способен регистрировать запись вдоль оптоволоконной линии длиной до 100 километров. Оптическое волокно не закортит, оно не подвержено коррозии, и если оно помещено в надёжную оболочку, то его трудно повредить, разве что только перерубить. Вы можете разместить оптоволоконные линии на морском дне, зацементировать

их в скважине — это несравненно проще и надёжнее, чем использовать автономные донные станции или специальные скважинные сейсмоприёмники. И на весь период жизни месторождения у вас будет обеспечен сейсмический мониторинг.

Звучит красиво, хотя, конечно, в деталях всё не так просто. Оптическое волокно, как мы уже поняли, реагирует на деформацию только вдоль своей оси, и не все типы волн могут быть зарегистрированы прямым кабелем. Есть и другие проблемы, в частности — обеспечения качественного контакта кабеля со средой. Но эти проблемы преодолимы, и решения у нас уже есть. Они могут быть связаны как с особой конфигурацией линии приёма, так и с применением волокна, содержащего специально нанесённые искусственные отражатели. В Санкт-Петербурге коллеги создали морскую систему наблюдения, мы тоже активно работаем в направлении создания таких систем, ориентируясь как на морские, так и на сухопутные условия. Нам надо разработать системы регистрации, которые были бы технологически эффективны, дешёвы и обладали необходимыми свойствами: чувствительностью, диаграммой направленности, частотными характеристиками. Это пример междисциплинарного исследования, работа



Структурно-геологические исследования в долине реки Чуя, Алтай. На фото — кандидат геолого-минералогических наук Антон Маринин.



Кандидат геолого-минералогических наук Надежда Андреева занимается установкой сейсмостанции.

сильные, но они не закрывают весь спектр требуемых приложений. Как пример: нет современной отечественной бескабельной системы наблюдений, необходимой в тех случаях, когда мы имеем дело со сложным рельефом местности. Мы можем не рубить просеки и не нарушать ландшафт местности, если нам не нужно тянуть кабель. Данные передаются по радиоканалу и доступны в реальном времени, что очень важно, поскольку это позволяет контролировать качество работ. В мировой геофизике бескабельные системы стали практически стандартом. Они технологичнее, дешевле в эксплуатации. У нас пока есть только наброски, реплики, в то время как западных образцов из-за санкций у нас скоро не будет. Лицензии на западное геофизическое программное обеспечение уже практически все приостановлены и, видимо, не будут возобновляться.

Поэтому создание отечественного геофизического оборудования и программного обеспечения — задача номер один. При этом очень важно не просто заниматься копированием, замещением — тогда придётся всегда быть догоняющим и пользоваться методами вчерашнего дня, о чём я говорил выше. Надо создавать качественно новые решения, более современные, чем существующие зарубежные образцы, как в приведённом выше примере с оптоволоконными датчиками — ещё нигде в мире такие системы не доведены до серийного производства. Надо пользоваться тем, что мы понимаем слабые места зарубежных продуктов. И благодаря тому, что в России сохранилась сильнейшая физико-математическая и геофизическая научная школа, — это реальная задача, необходимо только определить приоритеты и сосредоточить на них усилия.

на стыке фотоники, лазерной физики и геофизики.

К сожалению, с 1990-х годов компаниями делалась ставка на использование импортного геофизического оборудования и программного обеспечения, которые доминируют и сейчас. Отечественные разработки есть, в том числе — очень

Поиск следов древних сейсмокатастроф (палеоземлетрясений) в Северном Прииссыкулье. На фото — кандидат геолого-минералогических наук Андрей Стрельников.



Кандидат геолого-минералогических наук Андрей Шацлло измеряет анизотропию магнитной восприимчивости на капнометре МФК1-ФА.

Делать это надо, конечно, в сотрудничестве с потребителями конечного продукта — компаниями-недропользователями и сервисными компаниями: внимательно прислушиваться к их насущным проблемам, вникать в практические задачи и постоянно поддерживать, как говорят, обратную связь. У нас такой контакт налажен, в частности — за счёт проведения научно-практических конференций, где учёные и практики общаются на одной площадке. Важную роль в координации этой деятельности должен сыграть Научный совет по проблемам прикладной геофизики Отделения наук о Земле РАН. Научное геофизическое сообщество должно прикладывать максимум усилий для решения важнейшей задачи достижения технологического суверенитета в геофизике и геолого-разведочной отрасли в целом.

Вобщем, на мой взгляд, современная геофизика относится к IT-специальностям. Первыми среди гражданских по интенсивности использования вычислительных систем в СССР были именно геофизики. Объём вычислений у нас колоссальный. Времена, когда Курскую магнитную аномалию обнаружили просто потому, что стрелка компаса показывала «не туда», закончились полвека назад. Материал, который мы сейчас получаем

в поле, недоступен для качественного визуального анализа. Нельзя, как в 1950-е годы, разглядывая полевую сейсмограмму, сделать вывод о том, как устроены недра. Обработка сейсмике — это сложнейшая вычислительная математика. Все слышали про квантовый компьютер — так вот, геофизика рассматривается в качестве одного из основных его потребителей. Геофизика породила огромное количество выдающихся математиков. Академик Андрей Николаевич Тихонов, создатель факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ, когда-то работал в Институте теоретической геофизики, и его теория некорректных обратных задач была создана именно исходя из задач геофизики. Геофизика всегда ставила и продолжает ставить перед математиками и физиками массу сложных и интересных задач. Именно поэтому несколько лет назад мы создали базовую кафедру в МФТИ, помимо того, что у нас есть такие кафедры в МГУ и в Геолого-разведочном университете. И интересное наблюдение — лучшее геофизическое программное обеспечение написано геофизиками, а не профессиональными программистами. Чистых программистов надо привлекать уже на стадии оптимизации, как говорят, «рефакторинга» кода. Хороший геофизик — это такой субъект, который должен быть и хорошим геологом, и хорошим

физиком и математиком, и инженером, и айтишником — всё одновременно. Очень интересная и очень сложная профессия на стыке специальностей.

В задачи нашего института входит оценка вероятности катастрофических явлений, в том числе землетрясений. Это ещё иногда называют «прогнозом». Кстати, первую программу работ по прогнозу землетрясений разработал директор ГЕОФИАНа Г. А. Гамбурцев, после катастрофического Ашхабадского землетрясения 1948 года. Программа эта не потеряла актуальности, хотя, по большому счёту, до сих пор так и не реализована нигде в мире. Но я не очень люблю термин «прогноз», потому что в человеческом сознании он ассоциируется с чем-то подобным прогнозу погоды. Даже прогноз погоды, как мы знаем, иногда ошибается, но цена такой ошибки значительно ниже, чем цена ошибки при прогнозе землетрясения, когда надо останавливать деятельность предприятий и эвакуировать людей. Краткосрочный сейсмологический прогноз, в отличие от прогноза погоды, вряд ли возможен, по крайней мере — пока.

Почему? Отчасти ответ на этот вопрос дают современные японские наблюдения. Япония вся покрыта системой высокоточной регистрации деформаций земной коры. Многолетние наблюдения дали учёным основания полагать, каков механизм возникновения землетрясений в данном регионе, где океаническая литосфера пододвигается под континентальную — происходит субдукция. Время от времени на каком-то из участков этой зоны поддвига движение прекращается из-за трения, как говорят — зона субдукции «запирается». Происходит накопление упругой деформации, затем напряжения становятся слишком большими и возникает разрыв — сильное землетрясение, упругая энергия высвобождается. Действительно, японцы многократно наблюдали, как после нарастания деформации, фиксируемой их системами, происходит сильное землетрясение. Но они не раз видели и такие ситуации, когда деформация растёт, вот-вот должно стукнуть, но всё потихоньку рассасывается за счёт медленной деформации — крипа и

сильного землетрясения не происходит, хотя предвестники наблюдались. По этой причине японцы краткосрочных прогнозов не делают, как не делают их и любая другая ответственная сейсмологическая служба мира. Физика этого явления такова, что однозначную модель землетрясения пока создать нельзя.

Приведу пример, который отчасти имеет отношение к тому, как я оказался в Институте физики Земли, что меня увлекло. Когда-то в детстве я прочитал книгу о девушке, которая занималась прогнозом землетрясений. В те годы — а книга была примерно 1960-х годов — казалось, что это вот-вот станет возможным. И эта девушка, героиня книги, рассказывает своему собеседнику, как она прогнозирует землетрясения. Для наглядности она берёт карандаш, начинает его ломать и говорит: «Ты слышишь, прежде чем сломаться, карандаш трещит? Так же должна трещать и Земля перед землетрясением, а значит можно услышать треск и предсказать событие». Но проблема в том, что если карандаш — планета Земля, то человек на этой планете даже не песчинка, и не микроб, а крошечная частица. И размер очага катастрофического землетрясения — не слом поперёк карандаша, а та самая крошечная трещинка, тот самый «треск», который должен быть предвестником. Мы можем предсказать, что в определённой области в ближайшие сто, пятьдесят или даже десять лет весьма вероятно землетрясение определённой силы. Но мы не можем сказать, будет оно завтра или через год.

Тут важно понимать, что такое вообще прогноз землетрясений. Сделать прогноз — это значит указать место, силу и время землетрясения. Вообще говоря, достаточно сконцентрироваться на прогнозе только сильных землетрясений — шесть-семь баллов и выше. Более слабые землетрясения для современных зданий угрозы не представляют. Прогноз бывает долгосрочный — десятки и сотни лет, среднесрочный — годы и десятки лет и краткосрочный — дни, недели, месяцы.

Долгосрочный прогноз мы делать умеем, и это называется сейсмическим районированием. У нас есть довольно точные карты с такими оценками, где нанесена



Экспедиция в Карелию. На фото — кандидат технических наук Станислав Иванов, Зиновий-Юрий Майбук, Фёдор Передерин, член-корреспондент РАН Юрий Морозов.

ожидаемая интенсивность землетрясений, вероятность превышения которой составляет 1—10% (в зависимости от типа карты). По карте мы смотрим, в каких районах существует повышенный риск сейсмических событий. Это, например, Камчатка, где уже долгие годы ведётся программа по сейсмоукреплению строений и сооружений. Карты, конечно, тоже могут давать какие-то ошибки, но тем не менее они отражают сейсмические риски с очень высокой достоверностью. Хорошим примером может служить алтайское землетрясение 2003 года, необычно сильное для тех мест, которое было правильно предсказано картой ОСР-97, созданной в ИФЗ РАН. Хотя исторически известных сильных землетрясений там не было, на основе анализа палеосейсмологических данных — эта технология разработана у нас в Институте — были сделаны выводы, какие землетрясения происходили в далёком прошлом, и регион попал в восьмибалльную зону. Прогноз оказался верным, и таких примеров немало. Серьёзных землетрясений, которые стали для сейсмологов полной неожиданностью, в последние десятилетия практически нет.

Если говорить о среднесрочных прогнозах, то их мы тоже в целом умеем де-

лать. Например, для некоторых районов Камчатки действует прогноз, что сильное землетрясение там может произойти в ближайшие десятилетия. Большое значение имеет метод сейсмической бреши: как и в Японии, океаническая литосфера здесь пододвигается под островную дугу. И, если в двух словах, мы видим, что в некоторых районах давно не было сильных землетрясений, тогда как они произошли на смежных участках зоны поддвига — это зона сейсмической бреши и здесь следует ожидать сильного события. Этот метод не является чисто качественным, как может показаться. На его основе камчатские сейсмологи разработали под руководством академика Сергея Александровича Федотова способы количественной оценки вероятности сейсмических событий. В Институте вулканологии и сейсмологии в Петропавловске-Камчатском работает совет, который регулярно анализирует большую совокупность прогностических признаков и следит за развитием ситуации в регионе. Словом, мы понимаем, что риск в среднесрочной перспективе велик и предупреждаем о нём. На этом основании производится и сейсмоукрепление, о котором я уже сказал. А среднесрочную оценку сейсмической обстановки для

всей территории России на регулярной основе выполняет одно из подразделений ИФЗ РАН — Координационный прогностический центр. Соответствующие справки анализируются межведомственным экспертным советом и направляются в МЧС России.

Важно понимать, что в разных районах страны прогнозы имеют разную степень сложности. Например, тектоническое строение и закономерности сейсмического процесса Кавказа в целом сложнее, чем на Камчатке, — здесь нет контролирующей обстановку зоны субдукции, а происходит общее региональное сжатие сильно фрагментированной литосферы, поэтому метод сейсмической бреши не работает так же хорошо.

Что касается краткосрочного прогноза, я считаю, что для того, чтобы достичь здесь успеха, необходимо активно разрабатывать теорию сейсмического очага — создавать модели землетрясений. Может статься, что существует некий фактор, о котором мы пока не догадываемся, и если он будет обнаружен, мы сможем давать более краткосрочные прогнозы. Поэтому продолжать работу в данном направлении необходимо.

Очень интересный метод долгосрочно-среднесрочного прогноза развивает в нашем институте Алексей Александрович Любушин. Его подход основан на современных принципах анализа больших данных, в качестве которых выступает сейсмический шум. Алексею Александровичу удалось обнаружить, что если начинает наблюдаться синхронизация в колебаниях различных частей земной коры — это может быть предвестником катастрофического землетрясения. На этой основе был сделан прогноз землетрясения Тохоку 2011 года.

Чтобы исключить риск серьёзных разрушений при землетрясениях, проектированию и строительству в сейсмически опасных зонах обязательно предшествует сейсмическое микрорайонирование. Тут мы продолжаем традиции Сейсмологического института АН СССР, от которого ведём свою историю. Ещё в 1930-х годах его директор, замечательный сейсмолог, член-корреспондент АН Павел Михайлович Никифоров писал, что ни одно строи-

тельство в сейсмических районах СССР не обходится без активного участия СИАНА. И по сей день ИФЗ РАН ведёт работы по оценке сейсмической опасности для большинства ответственных объектов — мостов, трубопроводов, электростанций, высотных сооружений — не только в России, но и за рубежом, там, где подрядчиками выступают российские проектные и строительные организации. Задача этих работ — уточнить возможную интенсивность сейсмических воздействий для конкретной площадки с учётом особенностей тектонического и геологического строения и грунтовых условий.

В последние годы геофизики, изучающие твёрдые оболочки Земли, включаются и в работу, связанную со снижением углеродного следа. Дело в том, что изменения в твёрдой земле, в первую очередь в многолетнемёрзлых породах, могут оказывать заметное влияние на климат, поскольку в них содержится большое количество метана, а метан — один из основных парниковых газов. Мы имеем здесь систему с положительной обратной связью: происходит потепление климата, деградация вечной мерзлоты, метан выделяется в атмосферу, парниковый эффект усиливается. Это очень опасное явление. Выделение метана приводит к появлению воронок газового выброса — такое сейчас наблюдается, в частности, на Ямале. Оценивать состояние мёрзлых пород — как раз задача геофизиков. Оценку можно делать как на основе геофизических методов — инженерной сейсморазведки, электроразведки, так и путём непосредственного температурного мониторинга. А температурный мониторинг на значительных площадях можно проводить при помощи оптоволоконных датчиков, подобных тем, о которых мы говорили. Работы по созданию таких систем мы ведём в сотрудничестве с МФТИ, где существует сильнейшая школа в области фотоники.

Также мы понимаем, что не получится быстро отказаться от сжигания ископаемого топлива и резко сократить все вредные промышленные выбросы. Один из способов декарбонизации — улавливание углерода с помощью специ-



альных сооружений, устанавливаемых на промышленных предприятиях. Но встаёт вопрос — куда девать CO_2 ? Один из методов — закачивать его в землю, например, в выработанные месторождения углеводородов или в иные пласты-коллекторы. Что для этого нужно? Найти в непосредственной близости от предприятия, выбрасывающего много CO_2 , соответствующие месторождения или пласты, провести детальную разведку этих объектов, выяснить, пригодны ли они для таких целей. Углекислый газ, закачиваемый в недра, может вести себя по-разному — например, демонстрировать критическое или закритическое поведение, приводить к интенсивным химическим реакциям, разрушениям пород с возможными аварийными последствиями. Мы не можем просто его закачивать в свободное пространство, мы должны точно знать, где и как можно это делать, и главное — мы должны следить за процессом в реальном времени. То есть это та же задача геофизического мониторинга, которая возникает в связи с разработкой месторождений, и она требует для своего решения создания аналогичного оборудования и методов наблюдений.

Ещё одна связанная с экологией задача для геофизики и геофизиков — разведка

Член-корреспондент РАН Сергей Андреевич Тихоцкий, выступление на Учёном совете ИФЗ РАН.

ресурсов для геотермальной энергетики. Использовать тепло Земли в качестве источника энергии — вполне реально. Вопрос в экономической эффективности. Пока что сейчас каждая геотермальная электростанция — отдельный проект. Нужно довести технологию до такого уровня, чтобы можно было легко масштабировать.

Мир меняется, меняется экономика, меняются задачи и объекты исследований геофизиков. Но, берусь утверждать, значение нашей специальности для людей, для экономического и общественного развития не только не снижается — оно возрастает. Одновременно возрастают и требования к квалификации геофизиков, к широте их знаний.

В настоящее время эти изменения происходят очень быстро, как и в других областях науки и экономики. Наша задача — не только не отставать, но опережать время, видеть вызовы и отвечать на них.

Записала Наталия ЛЕСКОВА.

Фото предоставлены ИФЗ РАН.

Купить книги и журналы «Наука и жизнь»
теперь можно в наших магазинах на OZON и WILDBERRIES



Самый свежий
номер



Журналы и комплекты
прошлых лет



Книги издательства
«Наука и жизнь»

Покупайте журналы на маркетплейсах со скидкой и быстрой доставкой
в пункты выдачи в России, Беларуси и Казахстане

OZON



WILDBERRIES



Главный редактор Е. А. ЛОЗОВСКАЯ.

Заместители главного редактора: М. А. АБАЕВ, Н. А. ДОМРИНА.

Зав. отделом корректуры и проверки Л. М. БЕЛЮСЕВА.

Редакция: Л. В. БЕРСЕНЕВА, Н. К. ГЕЛЬМИЗА, Т. Ю. ЗИМИНА, З. М. КОРОТКОВА, А. А. ПОНЯТОВ,
Л. А. СИНИЦЫНА, К. В. СТАСЕВИЧ, Ю. М. ФРОЛОВ.

Дизайн и вёрстка: З. А. ФЛОРИНСКАЯ, Т. М. ЧЕРНИКОВА, Т. Б. КАРПУШИНА, М. М. СЛЮСАРЬ.

Заведующая редакцией: Н. В. КЛЕЙМЕНОВА.

Администратор сайта: Т. М. ВАГИНА. Информационное партнёрство: Е. С. ВЕЛИЧКИНА.

Служба распространения: Д. В. ЯНЧУК, тел. (495) 621-09-71. Служба рекламы: Т. В. ВРАЦКАЯ, тел. (915) 108-04-05.

Информация об условиях размещения рекламы: www.nkj.ru/advert/

Адрес редакции: 101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 24/7, стр. 1. Телефон для справок: (495) 624-18-35.

Электронная почта: mail@nkj.ru. Электронная версия журнала: www.nkj.ru

- Ответственность за точность и содержание рекламных материалов несут рекламодатели
- Перепечатка материалов — только с разрешения редакции
- Рукописи не рецензируются и не возвращаются
- Выпуск издания осуществлён при финансовой поддержке Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ

© «Наука и жизнь». 2023.

Учредитель: Автономная некоммерческая организация
«Редакция журнала «Наука и жизнь».

Журнал зарегистрирован в Государственном комитете Российской Федерации
по печати 26 февраля 1999 г. Регистрационный № 01774.

Подписано к печати 26.12.2022. Печать офсетная. Тираж 18100 экз. Заказ № 220917.

Цена договорная. Отпечатано в ООО «Первый полиграфический комбинат».

Адрес: 143405, Московская область, Красногорский район, п/о «Красногорск-5», Ильинское шоссе, 4-й км.

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ С ЛЮБОГО МЕСЯЦА



НА ПОЧТЕ

Индексы: П1467, П2831



НА САЙТЕ

www.nkj.ru

с доставкой по почте
или с получением в редакции

г. Москва, Мясницкая ул., д. 24/7, стр. 1

5 минут пешком от метро «Тургеневская», «Чистые пруды», «Сретенский бульвар».
С 10.00 до 17.30 по рабочим дням, с 10.00 до 14.00 — по субботам.

Воскресенье — выходной день.



КУПИТЬ ЖУРНАЛ



В редакционном интернет-магазине

www.nkj.ru/shop/988/

с доставкой Vohberry

или с получением в редакции



TELEGRAM-БОТ

свежий номер в PDF

демо-номер журнала БЕСПЛАТНО

t.me/nkj_bot



В интернет-магазине

Найди свою книгу
Лабиринт

<https://www.labirint.ru/pubhouse/4814/>



НАУКА И ЖИЗНЬ

Есть вопросы по подписке?

Пишите: subscribe@nkj.ru

Телефон для справок: +7 (495) 624-18-35

НАУКА И ЖИЗНЬ

I

2023



Фото Андрея Лисинского



Подписные индексы: П1467, П2831