УДК 534 DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).15

К 100-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА ЛЕОНИДА МАКСИМОВИЧА БРЕХОВСКИХ

В.В. Гончаров[1], С.А. Свиридов[1], Т.И. Цыплакова[1]

[1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36

Статья поступила в редакцию10.11.2017, одобрена к печати 25.12.2017

Научно-биографический очерк к 100-летию академика Л.М. Бреховских, создателя и главы научной школы по акустике океана, получившего широкое международное признание. Многие ученые как в нашей стране, так и за рубежом, в том числе и те, кто никогда не встречался с Л.М. Бреховских лично, считают себя его учениками. Это связано с тем, что основные труды Л.М. Бреховских, изданные на русском, английском и китайском языках, по мнению многих ученых, являются настольной книгой, основным учебным пособием в их исследовательской работе. Научно-библиографический очерк публикуется с разрешения авторов и издательства «Наука» по материалам: Акустика неоднородных сред: в 2 т. / Бреховских Л. М., Годин О. А.; Науч. Совет Программы фундамент. исслед. Президиума РАН. М.: Наука, 2007 (Памятники отечественной науки. XX век).

Ключевые слова: Л.М. Бреховских, рассеяние звука, метод касательной плоскости, распространение звуковых волн в слоистых средах

Л.М. Бреховских родился 6 мая 1917 г. в д. Стрункино Архангельской области в многодетной крестьянской семье. Его родители были неграмотны, но мать очень хотела, чтобы дети учились. Старшие братья ходили в школу-четырехлетку за три километра, затем в семилетку за десять километров от деревни. Впоследствии они получили высшее образование и стали крупными специалистами в различных отраслях науки и техники. Л.М. Бреховских начал учиться в деревне Кошкино в одном километре от Стрункино, где также образовалась школа-четырехлетка. Любил читать, хотя для этого приходилось ходить за десять километров в библиотеку. Один из старших братьев присылал Леониду Максимовичу из Ленинграда журналы “Вокруг света”, которые прочитывались “от корки до корки”. Именно тогда у Леонида Максимовича зародилась мечта о путешествиях, которая удачно осуществилась в его дальнейшей жизни – научные интересы физика-теоретика оказались тесно связаны с морскими экспедициями, с океаном.

После окончания четырехлетки в 1929 г. Л.М. Бреховских не был принят в семилетку, так как его родители еще не успели вступить в колхоз (таковы были правила). Год он занимался крестьянскими работами и самостоятельно учил немецкий язык по случайно попавшемуся учебнику. В 1930 году по приглашению своего брата тринадцатилетний мальчик один едет из Архангельской области на Урал в г. Красноуральск, чтобы продолжать учебу. Здесь началось его увлечение физикой, которую преподавал молодой А.И. Китайгородский, впоследствии известный физик и популяризатор науки. Л.М. Бреховских много читал, причем его интересовали как специальные предметы; так и литература, музыка и театр. Окончив семилетку и проучившись некоторое время в Ленинграде в ФЗУ при заводе «Электросила», Л.М. Бреховских вернулся в Красноуральск, где успешно закончил восьмой класс.

В 1934 г. по совету своего другого брата, первокурсника Пермского государственного университета, Л.М. Бреховских поступает на подготовительные курсы при этом университете, за два с половиной месяца осваивает материал за девятый и десятый классы и успешно сдает вступительные экзамены на физико-математический факультет. Так начались серьезные занятия теоретической физикой у прекрасных преподавателей П.Е. Степанова (из московской школы физиков) и О.А. Базилевской (из ленинградской школы Фока). В студенческие годы Л.М. Бреховских работал лаборантом в кабинете теоретической физики, приступил к научно-исследовательской работе, измеряя теплоемкость грунтов в месте будущего строительства Камской ГЭС, редактировал студенческий научный журнал, участвовал в художественной самодеятельности. На пятом курсе П.Е. Степанов рекомендует Л.М. Бреховских в Московский университет В.С. Фурсову для выполнения дипломной работы. В Москве Леонид Максимович посещал семинар Л.И. Мандельштама, слушал лекции И.Е. Тамма и М.А. Леонтовича. Его дипломная работа «Квантовомеханическая теория естественной ширины спектральных линий» на конкурсе в Пермском университете получила первую премию, а сам он был рекомендован в аспирантуру.

В 1939 г. Л.М. Бреховских поступил в аспирантуру Физического института АН СССР. Его научный руководитель М.А. Леонтович предложил ему работу в области распространения радиоволн, но в то же время разрешил аспиранту самому определить направление своей работы. Л.М. Бреховских тогда представлялась наиболее интересной молекулярная и атомная, в частности, квантовая физика. Поэтому его первая статья 1941 года «К вопросу о диффузном рассеянии рентгеновских лучей», представленная в ДАН С.И. Вавиловым, затрагивала именно эти проблемы, как и последующие работы, в которых получены интересные результаты в области рассеяния рентгеновских лучей в жидкостях и кристаллах. Тема, предложенная М.А. Леонтовичем при поступлении в аспирантуру, отходит на второй план, хотя позднее теоретические вопросы распространения акустических волн стали основным направлением в научной деятельности Л.М. Бреховских.

Коллектив теоретического отдела ФИАН, где Л.М. проходил аспирантуру, был небольшой и очень дружный, в нем царила атмосфера творчества и научной взаимопомощи. Аспиранты участвовали в работе теоретического семинара, руководимого И.Е. Таммом, где выступали сотрудники отдела М.А. Марков, Е.А. Фейнберг, В.Л. Гинзбург, В.В. Владимирский. Неформальные обсуждения научных результатов, бесконечные споры и доказательства – все это формировало молодых людей как ученых, способствовало росту и развитию их творческого мышления. Именно здесь наиболее близким другом Леонида Максимовича стал А.М. Прохоров, будущий академик, лауреат Нобелевской премии.

В начале Великой Отечественной войны ФИАН был эвакуирован в Казань. К этому времени у Л.М. Бреховских накопилось уже достаточно много материалов по рассеянию рентгеновских лучей в кристаллах и жидкостях, и в октябре 1941 г. он защитил на эту тему диссертацию, получив первую ученую степень кандидата физико-математических наук.

После защиты кандидатской диссертации Л.М. Бреховских был принят в акустическую лабораторию ФИАН, возглавляемую Н.Н. Андреевым и работающую над проблемой защиты кораблей от немецких акустических мин. Так он впервые познакомился с подводной акустикой и вновь обратился к проблеме распространения волн для исследования законов спадания силы звука с расстоянием, определяющих дальность действия акустического трала. Начиная с этого времени, теория распространения радио и звуковых волн в слоистых средах стала одной из основных областей интересов Л.М. Бреховских. Для радиоволн решались задачи распространения между поверхностью Земли и ионосферой, а для звуковых волн – в первую очередь задачи распространения между частично отражающим и частично поглощающим дном и поверхностью моря. Кроме того, оказалось, что и сама толща воды имеет слоистую структуру, поэтому теория распространения волн в слоистых средах получила широкое применение для решения различных проблем.

В 1944 г. Л.М. Бреховских поступил в докторантуру акустической лаборатории ФИАН СССР, после окончания которой в 1947 г. защитил докторскую диссертацию по теории распространения звуковых и электромагнитных волн

в слоистых средах. В 1948 г. включенные в докторскую диссертацию работы молодого ученого были удостоены премии имени Н.Д. Папалекси.

В 1946 г. был проведен первый отечественный эксперимент по дальнему распространению звука в Японском море в ходе экспедиции на двух научно-исследовательских судах под руководством Л.Д. Розенберга и Н.И. Сигачева. Анализируя записи интенсивности звука, Л.Д. Розенберг обратил внимание, что на малых дистанциях (до 50 км) ослабление силы звука с расстоянием соответствовало обычным для того времени представлениям. Однако на больших дистанциях это ослабление происходило существенно медленнее. Изменился и характер принимаемого сигнала. За объяснением этого явления Л.Д. Розенберг обратился к своему сотруднику по акустической лаборатории Л.М. Бреховских. Анализ экспериментальных данных и глубокое понимание процессов распространения волн позволили Л.М. сделать вывод, что причиной необычно малого ослабления звука на больших дистанциях является его концентрация в слоях воды на глубинах, охватывающих минимум скорости звука, обусловленная рефракцией («полным отражением» от слоев с большей скоростью звука) звуковых лучей. При этом такие лучи лишены также периодических контактов с дном океана, при каждом отражении от которого теряется значительная часть энергии. Основной причиной формирования минимума скорости звука является ее незначительное возрастание с глубиной в соответствии с ростом гидростатического давления при практически постоянной температуре воды. Л.М. Бреховских удалось для простых моделей среды рассчитать как спадание интенсивности звука с расстоянием, так и форму и длительность сигнала на различных дистанциях. Результаты расчета хорошо совпали с данными эксперимента (“О распространении звука в слое жидкости с постоянным градиентом скорости распространения”, ДАН, 1948, при лучевой трактовке “О распространении звука в подводном звуковом, канале”, ДАН, 1949).

Открытие подводного волновода, названного впоследствии подводным звуковым каналом, имело огромное практическое значение и стало основой целого научного направления – акустики океана. За цикл научных исследований и практических разработок в области подводной акустики коллектив ученых (Л.М. Бреховских, Л.Д. Розенберг и др.) был удостоен Сталинской премии СССР 1951 г. Практически одновременно (работы 1946-48 гг.) к аналогичному выводу пришли ученые в США, анализируя данные эксперимента 1944 г. Но, так как в то время иностранные журналы попадали в СССР с существенной временной задержкой, в СССР об этом стало известно значительно позднее.

В конце 40-х, 50-х годах прошлого века, явившихся периодом становления акустики океана, появляется большое число научных работ разных авторов по распространению волн. В своих работах этого времени Леонид Максимович, наряду с лучевым приближением, развивал волновую теорию распространения в непрерывных слоистых средах. Рассматривались вопросы фокусировки звука, возникновение каустик, отражение и преломление плоских волн и звуковых импульсов и пучков. Для сферических волн был применен единый универсальный подход,

основанный на разложении сферической волны на плоские с последующим анализом интегрального выражения для отраженного и преломленного полей. Проведен подробный анализ так называемой боковой волны, связанной с явлением полного внутреннего отражения, при лучевой трактовке которой (см. “Отражение и преломление сферических волн”, УФН, 1949), по-видимому, впервые была использована концепция особых, дифракционных лучей, которая легла в основу целого нового направления – геометрической теории дифракции.

Систематическое изложение большей части результатов по теории распространения звуковых, упругих и электромагнитных волн, полученных к этому времени в мировой науке, отражено в вышедшей в 1957 г. монографии Л.М. Бреховских «Волны в слоистых средах» (Москва, изд. «Наука»). Параллельное изложение теории распространения волн разной природы оказалось весьма полезным в силу применяемых в исследованиях общих математических методов, общности явлений и, как следствие, взаимного обогащения. Эта книга (и ее более позднее издание) фактически является энциклопедией по теории распространения волн и до сих пор является настольной книгой для специалистов по гидроакустике, геофизике и смежным областям науки. Она получила широкую известность и признание и в других странах мира. В 1960 г. монография была издана в США на английском языке и в Пекине на китайском. До сих пор редкий журнал американского акустического общества (JASA) обходится без ссылок на эту книгу.

Монография Л.М. Бреховских была также с интересом встречена специалистами, традиционно занимающимися теорией распространения волн, прежде всего, электромагнитных. Сложные условия распространения звука в океане (зависимость скорости распространения волн от пространственных координат и т. п.) стимулировали ученых к обобщению разработанных ранее методов решения. Можно сказать, что произошло неформальное объединение всех специалистов по теории распространения волн различной природы.

В это же время Л.М. Бреховских продолжал заниматься также задачами рассеяния звуковых и электромагнитных волн на неровных поверхностях. Им был впервые предложен «метод касательной плоскости» для периодических поверхностей (“Дифракция звуковых волн на неровной поверхности”, ДАН, 1951, “Дифракция волн на неровной поверхности”, ЖЭТФ. 1952), который затем был распространен М.А. Исаковичем для поверхностей со случайными неровностями и Б.Ф. Курьяновым на случай двухмасштабных неровностей, т. е. на случай, когда одновременно присутствуют, как, например, это бывает при волнении морской поверхности, и крупные волны, и мелкая рябь. Этот метод, называемый также “приближением Кирхгофа”, и в настоящее время является одним из наиболее распространенных методов расчета рассеяния звуковых и электромагнитных волн на неровных границах.

В 50-е годы Л.М. Бреховских активно занимался научно-организационной работой. Будучи руководителем теоретического сектора, а затем заместителем заведующего акустической лабораторией ФИАН, Л.М. придавал большое значение

привлечению к научной работе молодых ученых. Этой цели была подчинена его педагогическая деятельность в Ростовском университете, затем в Горьковском, где он читал курсы лекций по распространению волн. В 1947–1952 гг. Л.М. Бреховских читал лекции по распространению радиоволн на Физико-техническом факультете МГУ, на базе которого в 1951 г. был организован Московский физико-технический институт (МФТИ). Это было началом педагогической работы Л.М. В течение нескольких лет он читал лекции на тему: «Распространение волн в слоистых средах» студентам физического факультета МГУ, а затем, будучи уже профессором, – один из основных курсов – «Механика сплошных сред» на кафедре акустики МФТИ, переименованной позднее в кафедру физики гидрокосмоса. С 1975 по 1997 г. Л.М. заведовал этой кафедрой, руководил аспирантами, являлся научным консультантом при подготовке докторских диссертаций. Для него характерно чрезвычайно благожелательное отношение к научным работам своих сотрудников и учеников. В результате этой огромной работы в настоящее время только в Москве работает более десяти докторов и более двадцати кандидатов физико-математических наук, воспитанных Л.М. Бреховских. К его школе принадлежит большинство ведущих специалистов в области акустики океана.

Активная научная и научно-организационная деятельность в конце 40-х – начале 50-х годов была отмечена в 1953 г. избранием Л.М. Бреховских в члены-корреспонденты Академии наук СССР.

В 1953 г. было принято решение о создании Акустического института, возглавить его было предложено Л.М. Бреховских. Помимо более широкого развития прежних исследований, проводившихся в акустической лаборатории ФИАН, были определены и новые направления, которые стали развиваться в институте. Так, была создана лаборатория акустических методов исследования океана, выросшая впоследствии в научный отдел и явившаяся базой для развития нового направления – акустики океана, теоретические основы которого были разработаны Л.М. Бреховских.

В начале 60-х годов по инициативе Л.М. Бреховских Акустический институт получил в свое распоряжение два специально оборудованных акустических научно-исследовательских судна, излучающее «Петр Лебедев» и приемное «Сергей Вавилов». По своим экспериментальным возможностям, оснащению техническими средствами, электронной аппаратурой и вычислительной техникой эти корабли были в то время самыми совершенными. Суда были предназначены главным образом для совместной работы. Установленное на них уникальное оборудование позволило проводить сопровождающиеся гидрологическими и метеорологическими измерениями (т.е. в контролируемых условиях) эксперименты по дальнему распространению звука почти во всех районах Мирового океана. Эти эксперименты показали, что для интерпретации полученных результатов в теории распространения звука нужно учитывать множество различных факторов. Таких как затухание звука в морской воде и дне океана, рассеяние волн на неровных границах жидкого слоя (поверхность и дно) и в толще воды, горизонтальная неоднородность среды и т. п.

Большую роль в интерпретации первых экспериментов по распространению звука сыграла развиваемая Л.М. Бреховских теория усредненных акустических полей в океане, соответствующих некогерентному (энергетическому) сложению лучей или мод. Были обнаружены некоторые общие закономерности усредненной структуры звукового поля, связанные с вертикальным распределением скорости звука, возможно, медленно меняющегося по трассе (“Усредненное поле в подводном звуковом канале”, Акустический журнал, 1965). Такой подход позволил получить сравнительно простые выражения для среднего поля, не учитывающие интерференцию сигналов, приходящих в точку наблюдения по различным лучам или модам (энергетическое сложение). Эти результаты оказались очень удобными для интерпретации данных по дальнему распространению звука и до сих пор широко используются на практике.

В то же время Леонид Максимович хорошо понимал необходимость применения численных методов расчета распространения звука в океане. Он всегда призывал своих сотрудников и учеников к использованию этих методов в своих исследованиях, к созданию численных алгоритмов, позволяющих проводить расчеты для наиболее близких к реальным океанических условий, способствовал оснащению институтов и научно-исследовательских судов современной электронно-вычислительной техникой.

Бурное развитие теории распространения звука и нарастающее число публикаций по этим проблемам в СССР и США потребовало существенной переработки монографии Л.М. Бреховских “Волны в слоистых средах”. В 1973 году вышло 2-е издание этой книги, которое так же, как и 1-е, было издано в США в 1980 г. В этой монографии, наряду с расширенным современным изложением содержания 1-го издания, освещены также новые проблемы, связанные, прежде всего, с распространением волн в изменяющейся по трассе среде.

В 60-е годы Л.М. Бреховских начинает активно работать на стыке двух наук – акустики и океанологии. Он обосновал перспективность и целесообразность широкой программы акустико-океанологических исследований, считая, что в изучении океана акустика должна играть первостепенную роль (“О роли акустики в исследовании океана”, Изв АН СССР, 1965, “О некоторых проблемах акустики океана”, Изв АН СССР, 1968). Действительно, только звуковые волны могут распространяться в толще океана на многие тысячи километров; радиоволны затухают в морской воде на расстоянии порядка сотен метров, а свет практически полностью рассеивается на протяжении нескольких десятков метров. В связи с этим им намечаются основные направления акустических исследований, результаты которых могут быть использованы в океанологии. Прежде всего, это изучение подводного распространения звука, его рассеяния, отражения от границ и поглощения, а также исследование собственных шумов океана, обусловленных морским волнением, штормами, ливнями, тектоническими процессами в дне океана и т. п. Развитие этих направлений позволит дополнить классические, как правило, контактные методы океанологических измерений дистанционными акустическими.

В своих научных работах Л.М. непосредственно обратился к задачам динамики океана, изучая взаимодействие поверхностных волн в океане, приводящее к излучению акустических волн (“Звуковые волны под водой, обусловленные поверхностными волнами в океане”, Изв. АН СССР, 1966).

В 1968 г. Л.М. Бреховских был избран академиком, в 1969 г. – академиком-секретарем Отделения океанологии, физики атмосферы и географии АН СССР. Необходимость получения более детальных знаний о динамических процессах в океане потребовала проведения долговременного полигонного гидрофизического эксперимента, в результате которого была открыта вихревая структура океана. В процессе подготовки этого эксперимента его научный руководитель – Л.М. Бреховских за полгода до выхода в океан начал собирать еженедельные совещания по подготовке рейса. Обсуждались число участвующих в эксперименте организаций и научно-исследовательских судов, роль и задачи каждого из них, район и время проведения работ, геометрия эксперимента, количество необходимых буйковых станций, их расположение и глубины регистрации течений, пространственные и временные масштабы измерений, спектральные характеристики антенн различных конфигураций. В результате в эксперименте “Полигон-70”, который состоялся в 1970 г. и продолжался полгода, участвовали шесть научно-исследовательских судов; площадь акватории эксперимента была более 12 тыс. квадратных миль. Антенна из автономных датчиков была установлена в зоне Северного пассатного течения, которое считалось устойчивым и не подверженным возмущениям. Однако уже первичные результаты показали его изменчивость, причем на всех горизонтах отмечалось периодическое изменение направления течения на обратное. Наблюдаемая картина, как показал анализ полученных данных, соответствовала прохождению через полигон громадных, до 200 км в диаметре вихревых образований. Было экспериментально установлено не известное ранее явление образования в открытом океане перемещающихся синоптических вихрей, заключающееся в том, что в толще вод океана происходит формирование систем движущихся циклонических и антициклоничесхих вихрей размерами в десятки и сотни километров и кинетической энергией, превосходящей энергию крупномасштабных течений (“Полигонный гидрофизический эксперимент в тропической зоне Атлантики”, ДАН, 1971).

Доклад Л.М. Бреховских осенью того же 1970 г. в Токио на Объединенной океанической ассамблее о предварительных результатах этого эксперимента вызвал большой интерес и стимулировал подобные исследования в открытом океане. Так, в 1973 г. ученые США провели аналогичный трехмесячный эксперимент (МОДЕ) в Саргассовом море и получили похожие результаты. В совместном тринадцатимесячном советско-американском эксперименте ПОЛИМОДЕ 1977 – 1978 гг.. были обнаружены новые особенности структуры и динамики океанских вихрей. Открытие явления образования в открытом океане перемещающихся синоптических вихрей было занесено в Государственный реестр открытий СССР, а его авторам Л.М. Бреховских, В.Г. Корту, М.Н. Кошлякову и Л.М. Фомину в 1979 г. был вручен диплом.

За большие заслуги в развитии советской науки и техники и внедрение результатов исследований в народное хозяйство Л.М. Бреховских в 1971 г. был награжден орденом Ленина. Вторым орденом Ленина Л.М. Бреховских был награжден в 1975 г. за заслуги в развитии советской науки и в связи с 250-летием Академии наук СССР. В 1970 г. за научное руководство разработкой гидроакустического комплекса «Рубин» для атомных подводных лодок (головной разработчик – ЦНИИ “Морфизприбор”) Леониду Максимовичу была присуждена Ленинская премия.

С 1969 г. в течение 10 лет Л.М. возглавлял в Акустическом институте Отдел акустики океана, где проводились широкомасштабные теоретические и экспериментальные исследования в области подводной акустики. Немало успехов было достигнуто коллективом этого отдела в изучении звуковых полей в океане, их модового состава, тонкой структуры, стабильности и океанологических характеристик, влияющих на законы распространения звуковых волн, в разработке методов математического моделирования звуковых полей, в решении целого ряда проблем, связанных с генерацией и физическими характеристиками собственных шумов океана, в исследовании отражения звука от морской поверхности и дна, а также рассеяния на границах и в толще океана.

Необходимость подвести итог более чем десятилетних исследований, проводимых на научно-исследовательских судах в океане, обобщить полученный коллективом огромный экспериментальный материал привела Л.М. к идее написания фундаментальной монографии, которая отобразила бы современное состояние подводной акустики. В написании монографии участвовал коллектив ведущих сотрудников его отдела (Н.С. Агеева, И.Б. Андреева, В.И. Воловов, Ю.Ю. Житковский, Ю.П. Лысанов, А.В. Фурдуев, С.Д. Чупров, Р.Ф. Швачко). В вышедшей в 1974 г. книге ”Акустика океана” были охвачены все стороны акустики океана - теоретический и экспериментальный аспекты подводного распространения звука, рассеяние звука звукорассеивающими слоями, а также рассеяние от поверхности и дна, отражение от границ, особенности распространения звука с учетом изменчивости характеристик океана, собственные шумы океана. За эту монографию коллективу авторов во главе с Л.М. Бреховских была присуждена Государственная премия СССР за 1976 г.

В начале 70-х годов Л.М. Бреховских организовал группу (“бригаду”) сотрудников, интересующихся гидродинамическими процессами в океане. “Бригадный” метод работы, заключавшийся в коллективном, очень тщательном и заинтересованном обсуждении той или другой темы, подготовленной кем-то из членов “бригады”, оказался весьма результативным и позволил в короткий срок решить ряд проблем, связанных с вопросами нелинейного взаимодействия и генерации волн различной природы (“О резонансном возбуждении внутренней волны при нелинейном взаимодействии поверхностных волн”, Изв. АН СССР, 1972; “К вопросу об излучении инфразвука в атмосферу поверхностными волнами в океане”, Изв. АН СССР, 1973; “Волны в океане”, Изв. вузов. Радиофизика, 1976 и др.).

В 1978 г. Акустическое общество Великобритании и английский Институт акустики присудили Л.М. Бреховских Большую золотую медаль Рэлея за выдающиеся работы в области акустики. При награждении было отмечено, что, хотя сфера научной деятельности Л.М. Бреховских обозначается обычно термином ”волновая теория”, на самом же деле его интересы весьма широки – он объединил теорию электромагнитных и акустических волн, а также акустических волн и других волновых движений в океане.

В конце 70-х – начале 80-х годов Л.М. Бреховских написал несколько крупных работ. Совместно с Ю.П. Лысановым подготовил главу по акустике океана для большой десятитомной монографии “Океанология” (1978), которая отразила современное состояние всех разделов океанологии. Важным событием была публикация в 1982 г. монографии Л.М. Бреховских и Ю.П. Лысанова “Теоретические основы акустики океана”, вышедшей одновременно на русском и английском языках. В книге достаточно простым языком с объяснением физики явлений и привлечением экспериментального материала изложены наиболее фундаментальные закономерности распространения звука в океане, его рассеяния на взволнованной морской поверхности и на случайных неоднородностях толщи воды. Монография оказалась востребованной студентами, аспирантами и научными сотрудниками как в СССР, так и за рубежом. Недавно (2003 г.) вышло 3-е существенно дополненное издание монографии на английском языке. В том же (1982 г.) году была опубликована книга “Введение в механику сплошных сред”, написанная Л.М. Бреховских совместно с В.В. Гончаровым. В 1984 и 1989 гг. она была издана в ФРГ на английском языке.

Кроме научных монографий Л.М. написал также еще одну очень интересную книгу, “Океан и человек. Настоящее и будущее” (Наука, 1987), в которой отражены его взгляд на роль океана в судьбе человечества, способы его изучения. С большим интересом читаются выдержки из его дневников, написанных во время экспедиций на научно-исследовательских судах.

В 1977 г. Л.М. Бреховских организовал Кабинет акустики океана в Институте океанологии им. П.П. Ширшова АН, который в 1978 г. был преобразован в отдел. Л.М., будучи все время неформальным руководителем отдела, официально возглавил его в 1980 г. вместе с лабораторией распространения акустических волн. Костяк отдела составили его сотрудники по Акустическому институту и ученики (Б.Ф. Курьянов, Ю.Ю. Житковский, В.М. Куртепов, А.Г. Воронович, В.В. Краснобородько и др.), а также аспиранты и студенты кафедры физики гидрокосмоса Московского физико-технического института (О.А. Годин, А.В. Моисеев, Ю.А. Чепурин и др.). Основными направлениями исследований этого отдела, по мнению Л.М., должны были быть развитие фундаментальных основ акустики океана, методов диагностики океанской среды и создание новых современных технических средств изучения океана. Им организуется ряд океанических экспедиций на судах Института океанологии, в которых он также участвует в качестве научного руководителя. По инициативе Л.М. Бреховских в Финляндии были построены два новых научно-

исследовательских судна ”Академик Сергей Вавилов” (1988 г.) и “Академик Иоффе” (1989 г.), специально приспособленных для акустических исследований в океане: малошумящих и оснащенных современной вычислительной и исследовательской аппаратурой. С 1988 г. сотрудники акустических отделов Института океанологии, Института общей физики (Москва) и Института прикладной физики (Н. Новгород) начали проводить регулярные экспедиции на этих судах.

Все, кто принимал участие в экспедициях вместе с Л.М. Бреховских, получил основные практические навыки, необходимые при проведении гидроакустических исследований. В то же время Л.М. Бреховских умел создать доброжелательную обстановку в экспедициях, что также способствовало их успеху. Он организовывал у себя в каюте музыкальные вечера, где прослушивались музыкальные записи, прежде всего, классические, тонким ценителем которой был он сам. Во время заходов в иностранные порты Л.М. всегда подбирал спутников для посещения музеев, осмотра основных достопримечательностей, длительных прогулок. Он всячески поддерживал организацию экскурсий в стране пребывания. При этом со стороны казалось, что Л.М. совершенно не уставал от таких походов. Даже в семидесятилетнем возрасте он часто выглядел свежее, чем существенно более молодые его сотрудники.

Среди важнейших достижений Л.М. Бреховских и руководимого им коллектива за этот период следует отметить успешное развитие методов изучения океана с помощью созданных в лаборатории, руководимой Б.Ф. Курьяновым, полностью автоматизированных автономных акустических станций, позволяющих по-новому подойти к исследованиям анизотропии и глубинных зависимостей шумов океана. С помощью этой аппаратуры были также разработаны методы восстановления структуры слоистого дна глубокого океана на основе измерения интерференционной картины шумового широкополосного звукового поля. Исследования рассеяния звука дном океана, проводимые в лаборатории Ю.Ю. Житковского, послужили основой акустического метода разведки железомарганцевых конкреций на дне океана (“Рассеяние звука железомарганцевыми конкрециями”, Акустический журнал, 1985). Еще во время работы в Акустическом институте Л.М. Бреховских с сотрудниками были найдены новые способы навигации и определения скорости судна относительно дна, основанные на получении “акустического рельефа” дна океана с помощью спускаемой с борта судна антенной решетки (“Пространственная изменчивость акустического поля, отраженного от дна океана”, ДАН, 1981). На новом судне ”Академик Сергей Вавилов” такая решетка была установлена в его днище. Это позволило более оперативно получать акустические изображения морского дна и, в частности, предложить новый способ привязки судна к месту на дне океана без применения акустических маяков, как это обычно делается (“Получение акустического изображения морского дна с помощью многоэлементных антенн”, ДАН СССР, 1985).

В ходе экспедиций проводились также эксперименты по дальнему распространению звука в различных районах Мирового океана с помощью

разработанной в лаборатории, руководимой Л.М. Бреховских, аппаратуры: трехфункционального зонда “Триада” и 29 элементной 560 метровой вертикальной антенны. Так в 1987 г. в совместной экспедиции научно-исследовательских судов ИО АН (“Академик Курчатов”, “Витязь”) и ТОИ ДВО АН (“А.А. Виноградов”) под руководством Л.М. Бреховских были проведены акустические измерения низкочастотного звука вдоль 1100 км трассы в Индийском океане в условиях сильной пространственной изменчивости поля скорости звука (мощные фронтальные зоны, вихри). Аналогичные эксперименты также при участии Л.М. проводились и на новых судах в Центральной Атлантике (1989 г.) и Норвежском море (1990 г.). При этом много внимания уделялось разработке численных алгоритмов расчета распространения звука в океане. Результаты расчетов сопоставлялись с экспериментальными данными, анализировались различные способы представления характеристик сравниваемых полей для выработки наглядной методики интерпретации данных измерений. Детально изучались отличия численных расчетов от данных измерений, их причины и возможные пути устранения, а также степень влияния различных гидрологических факторов на процесс распространения звука в океане (“Эксперименты по дальнему распространению звука в Канарской котловине Атлантического океана”, Акустический журнал, 1990). Численное моделирование в условиях эксперимента 1989 г. на 3500 км трассе позволило связать наблюдаемые зоны относительно высокой интенсивности звука с явлением формирования слаборасходящихся пучков звуковых лучей. Аналогичный эффект был обнаружен и в других районах океана (“Слаборасходящиеся пучки звуковых лучей в Арктике”, Изв. РАН, 1995).

Ученики Л.М. Бреховских А.Г. Воронович и О.А. Годин, работающие под руководством Л.М. со студенческих лет, продолжали также развивать теоретические основы акустики океана, защитив в результате докторские диссертации. А.Г. Воронович разработал новые приближенные методы рассеяния волн на неровной поверхности (метод малых наклонов, метод фазового оператора и др.). Работы О.А. Година были посвящены использованию новых аналитических методов при решении классических задач распространения волн и учету новых факторов, влияющих на звуковые поля в океане (течения, плотностная стратификация, нестационарность среды). В результате возникла необходимость появления новой обобщающей монографии, существенно дополняющей широко известную в мире книгу Л.М. Бреховских “Волны в слоистых средах” и излагающей содержащийся в ней материал с современных позиций. Такая монография была издана в СССР (Л.М. Бреховских, О.А. Годин “Акустика слоистых сред”, 1989), в которой также представлены результаты других авторов, изложенные в едином для всей книге стиле с обширной библиографией по всем изложенным и только упомянутым вопросам. В более расширенном варианте, с включением задач распространения волн в изменяющейся по трассе среде, эта монография, в двух отдельных книгах, была также издана на английском языке в 1990 и 1992 гг. (1-е издание) и в 1998 и 1999 гг. (2-е издание).

Л.М. Бреховских постоянно призывал своих сотрудников и аспирантов к разработке новых подходов к дистанционному акустическому зондированию океана – акустической томографии океана. С этой целью Леонид Максимович еще в Акустическом институте, в руководимой им лаборатории акустических методов исследования океана (ЛАМИО), инициировал работы по систематизации накопленного за 1966–1980 гг. экспериментального и теоретического материала по влиянию крупномасштабных неоднородностей в океане на распространение звука. Эти работы продолжались и в Институте океанологии, где также были исследованы возможности диагностики таких неоднородностей по схеме линейной лучевой томографии. Леонид Максимович принимал участие в обсуждении полученных результатов, в ходе которых родилась идея поэтапного восстановления трехмерных неоднородностей среды, получая вначале оценку усредненного по глубине распределения возмущения в горизонтальной плоскости. Затем, используя это распределение, как априорную информацию о положении неоднородности, восстанавливается ее структура в каждой из вертикальных плоскостей. Позднее эта идея была использована при реконструкции структуры трехмерной внутритермоклинной линзы Средиземного моря по акустическим данным реального натурного эксперимента. В эксперименте 1990 г. в Норвежском море был также осуществлен прием тонального сигнала частотой 105 Гц на вертикальную 29-элементную антенну, гидрофоны которой позиционировались с точностью порядка 1 м. В результате обработки данных этого эксперимента удалось восстановить комплексные амплитуды звуковых мод в месте постановки антенны на дистанциях 27, 55 и 105 км. Кроме того, эти экспериментальные данные были использованы для демонстрации принципиальной возможности и эффективности восстановления поля скорости звука на трассе эксперимента методом самосогласованного поля.

Л.М. Бреховских постоянно поддерживал участие своих сотрудников в международных экспериментах по томографии океана со своей программой работ. Одним из таких проектов был эксперимент по традиционной схеме акустической томографии «THETIS-2» с 6-ю заякоренными трансиверами в Алжиро-Прованском бассейне Средиземного моря в 1994 г. В рамках этого проекта был проведен эксперимент по динамической томографии океана с движущегося судна (НИС ИО РАН «Академик Сергей Вавилов», О.А. Годин и др.). Был проведен прием звуковых сигналов с трансиверов на трехфункциональный зонд “Триада”, спускаемый с борта судна в точках вдоль акустических трасс с шагом 50–60 км. Кроме того, контактными методами собиралась гидрологическая информация. Процессы обработки и интерпретации полученных данных проводились с помощью лучевого, модового и параболического приближений. Для более качественной реконструкции двумерного поля скорости звука в условиях не разрешаемых по времени поздних приходов сигнала был предложен оригинальный метод согласованного поля во временной области. Результаты инверсии на отдельных разрезах показали хорошее соответствие с данными прямых гидрологических измерений.

Сотрудники лаборатории Л.М. Бреховских (А.Н. Гаврилов и др.) активно работали в совместной российско-американской программе ACOUS (Arctic Climate Observation using Underwater Sound), в рамках которой в 1998–1999 гг. был осуществлен эксперимент по непрерывной акустической термометрии Северного Ледовитого океана на стационарной 1250 км трассе. Одним из результатов анализа явилась возможность оценки по акустическим данным не только средней по трассе температуры, но и местоположения области потепления, связанной с поступлением теплых атлантических вод на те глубины, где они создают условия сильного взаимодействия звуковых мод (“Результаты эксперимента ACOUS”, Изв. РАН, 2002).

Обработка и интерпретация данных этих экспериментов проводилась также в рамках грантов РФФИ и зарубежных фондов INTAS, CRDF, непременным участником которых был Л.М. Бреховских.

Важным условием плодотворной научной работы является постоянное общение ученых. В 1950–70 гг., когда основные специалисты, занимающиеся этой областью науки, были сосредоточены в Москве, особых проблем с подробным обсуждением научных работ не возникало. Но по мере возникновения научных центров в различных городах СССР, часто весьма удаленных от Москвы, дефицит такого общения начал остро ощущаться. Для решения этой проблемы Л.М. Бреховских в конце 70-х годов организовал совместный научный семинар отделов акустики океана Института океанологии им. П.П. Ширшова АН, Акустического института им. акад. Н.Н. Андреева, Отдела волновых явлений Института общей физики АН и Института прикладной физики АН (Н. Новгород). В работе семинара принимали участие ученые не только из указанных институтов, но также из Ленинграда (Санкт-Петербурга), Воронежа, Владивостока и других городов. Заслушивались также выступления зарубежных ученых.

Но в первую очередь дефицит общения относился к молодым сотрудникам вновь образованных научных центров, которым для более глубокого понимания возникающих перед ними проблем было важно непосредственно услышать мнение ведущих ученых-акустиков. Л.М. Бреховских предложил организовать регулярную школу-семинар «Акустика океана», первое заседание которой было проведено в 1980 г. в пансионате АН СССР в г. Звенигород (около 40 км от Москвы). Заседания школы строились в виде прочтения ведущими учеными 20–30 обзорных лекций (в течение 5 дней работы), в которых излагалось современное состояние различных проблем акустики океана и возможные пути ее дальнейшего развития. Аналогичные школы-семинары проводились вплоть до 1990 г. с двухгодичной периодичностью, после чего временно прекратились из-за трудностей финансирования советской науки в этот период. Прочитанные на школе лекции публиковались издательством «Наука» в виде сборников, оказавшихся также весьма полезными и популярными. Регулярные (каждые два года) заседания школы-семинара, совмещенные с сессиями Российского акустического общества, возобновились в 1998 году и проводятся в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Программы школ охватывают практически все основные разделы современной акустики океана. Все доклады,

принятые оргкомитетом, публиковались к моменту открытия школы. Заседание 2006 г. было посвящено памяти академика Л.М. Бреховских – основателя и постоянного председателя оргкомитета школы-семинара.

Л.М. Бреховских вел большую научно-организационную работу. Он возглавлял Комиссии по проблемам Мирового океана АН СССР; был научным руководителем проекта «Акустика» межведомственной программы «Мировой океан»; членом бюро президиума научного совета «Изучение океанов и морей и использование их ресурсов» Государственного комитета СССР по науке и технике; членом Пленума Высшей аттестационной комиссии и Пленума Комитета по Ленинским и Государственным премиям СССР в области науки и техники при Совете Министров СССР. Леонид Максимович был главным редактором журнала «Океанология» АН СССР, членом редколлегии журналов «Вестник АН СССР», «Доклады АН СССР», «Акустический журнал», «Вокруг света», а также международных журналов «Acta oceanologica» (Париж) и «Wave motion» (Амстердам). Входил в редколлегию секции “Волновые явления” издательства Шпрингер (ФРГ).

Весьма обширна деятельность Л.М. Бреховских на международной арене. В составе советских делегаций он неоднократно представлял отечественную науку на международных переговорах, конференциях и совещаниях. Он участвовал в Международной конференции по определению методов контроля над запрещением ядерных взрывов, в заседаниях совместной советско-американской комиссии по сотрудничеству в области исследований Мирового океана. Леонид Максимович являлся членом Международной акустической комиссии (МАК), представителем Международного совета научных союзов (МСНС) в Научном комитете по океаническим исследованиям (SCOR). Кроме того, Леонид Максимович был членом кураториума по премии имени А.П. Карпинского Фонда А. Тепфера (г. Гамбург, ФРГ).

В последние годы Л.М. Бреховских продолжал активно работать в науке. Он являлся Советником Президиума РАН, руководил научной школой, в состав которой входили его ученики из Акустического института, Института океанологии и МФТИ, был научным руководителем различных проектов, грантов РФФИ и зарубежных фондов INTAS, CRDF.

Л.М. Бреховских создал новое направление в науке, внес большой вклад в развитие его теории, сделал крупные научные открытия, написал несколько монографий, которые стали настольными книгами специалистов в области подводной акустики, явился родоначальником научной школы. За большие заслуги в развитии советской науки и подготовке научных кадров Л.М. Бреховских в 1987 г. был удостоен звания Героя Социалистического Труда, а в 1997 г. награжден орденом “За заслуги перед Отечеством” III степени. ЛМ был избран первым почетным членом организованного в 1991 г. Российского акустического общества, в 2002 г. ему присуждена независимая российская премия “Триумф” за значительный вклад в Российскую и мировую науку, а в 2003 г. присвоено звание почетного профессора Московского физико-технического института.

Л.М. Бреховских получил много международных наград. В 1986 г. ему была присуждена премия имени А.П. Карпинского, учрежденная фондом г. Гамбурга

(ФРГ) для советских ученых за выдающиеся работы, открытия и изобретения в области естественных и общественных наук, в 1997 г. – Медаль У. Манка Международного Океанографического общества. В 1991 г. Леонид Максимович был избран иностранным членом Национальной Академии наук США, а в 1999 г. удостоен звания Почетного члена Американского акустического общества.

От Редколлегии журнала

Сотрудники и коллеги по Акустическому отделу благодарны общей судьбе, связавшей всех нас общими интересами, а также Институту океанологии им. П.П. Ширшова РАН, объединившего всех одной целью в многолетней научной работе, с человеком уникального склада характера, великого ученого и замечательного педагога, создавшего свою школу «Акустика океана» и воспитавшего большую плеяду учеников, несущих сегодня по всему миру поднятое им знамя неудержимого стремления к познанию океана. Сегодня всех нас объединяют общие научные интересы в той замечательной области знаний, которую мы открыли для себя благодаря Л.М. Бреховских.

THE 100th ANNIVERSARY OF THE ACADEMICIAN LEONID M. BREKHOVSKIKH

V.V. Goncharov[1], S.A. Sviridov[1], T.I. Tsyplakova[1]

[1]*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovskyi prospect, Moscow, 117997, Russia, e-mail:*
Submitted 10.11.2017, accepted 25.12.2017

Keywords: L.M. Brekhovskikh, sound scattering, the method of the tangent plane, propagation of sound waves in layered media

Scientific and biographical sketch for the 100th anniversary of Academician L.M. Brekhovskikh, the creator and head of the scientific school on ocean acoustics, who received wide international recognition, is presented. Many scientists, both in our country and abroad, including those who have never met L.M. Brekhovskikh personally, consider themselves to be his disciples. This is due to the fact that the main works of L.M. Brekhovskikh, published in Russian, English and Chinese, according to many scholars, are the main teaching guide and reference book in their research work. The scientific bibliographic essay is published with the permission of the authors and the "Nauka" Publishers on the basis of materials: Akustika neodnorodnyh sred: v 2 tomakh. / Brekhovskikh L.M., Godin O.A.; Nauch. Sovet Programmy Fundament. Issled. Prezidiuma RAN. M.: Nauka, 2007 – (Pamjatniki otechestvennoj nauki. XX vek).