

НА ПЕРЕДНЕМ КРАЕ НАУКИ

# Подводные реки и водопады Атлантики изучают в Институте гидродинамики

Накануне юбилея крупнейшего учёного в области гидродинамики академика Льва Васильевича Овсянникова мы побеседовали с двумя его учениками, докторами физико-математических наук, главными научными сотрудниками Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН **Валерием Юрьевичем Ляпидевским** и **Николаем Ивановичем Макаренко**, которые занимаются новым научным направлением — глубоководной гидродинамикой.

**В.Ю. Ляпидевский:** Мы с Николаем Ивановичем — теоретики, выпускники мехмата НГУ, занимались проблемами, связанными с дифференциальными уравнениями, которые описывают различные типы движений сплошной среды. Постепенно круг наших научных интересов расширился — ведь уравнения, которые описывают такие движения, применимы для многих ситуаций, и нам интересно понять, что стоит за самыми разнообразными природными явлениями. Сейчас мы занимаемся задачами, связанными с течениями в атмосфере и океане.

Но прежде всего хотелось бы сказать несколько слов о нашей научной школе, к которой мы ощущаем свою причастность с первых шагов в науке (я и Николай Иванович специализировались на кафедре гидродинамики НГУ у Льва Васильевича Овсянникова). В рамках единой научной школы каждый работал над своей темой, но была научная среда, когда все друг друга знали, поддерживали, понимали и могли это оценить.

Эти результаты были хорошо известны научному сообществу всей страны. Импульс, который был задан, не угас в нас до сих пор, и мы стараемся следовать традициям, заложенным в те времена лучшими людьми Академгородка, среди которых для нас особое место занимает Лев Васильевич. Он никогда не указывал, что конкретно нужно делать, не отслеживал каждый наш шаг, но научный результат не заставлял себя ждать. Его лекции до сих пор являются образцом лаконичности, законченности, отточности, по его учебникам готовят настоящих учёных. Планка была очень высока, и благодаря этому сформировалась целая школа. Много ученых, вышедших из нее, разбросаны по стране, кто-то — за рубежом. Тем не менее, мы поддерживаем контакты между собой и сохраняем школу и дань уважения Учителю — поверьте, это дорогого стоит.

Сейчас советская система организации науки уходит в прошлое, появились другие, «наукометрические» показатели успешности. Нам же, чтобы доказать свою состоятельность в науке в то время, не нужно было публиковать множество статей в иностранных журналах — важен был результат.

В настоящее время очень важным для нас является сотрудничество с московским Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН в достаточно крупном проекте — экспедиционных исследованиях в Атлантическом океане на научно-исследовательских судах «Академик Иоффе» и «Академик Сергей Вавилов».

**Н.И. Макаренко:** Эта интересная сторона нашей деятельности возникла в 2008 году, когда в Новосибирске побывал Евгений Георгиевич Морозов, заведующий лабораторией Института океанологии, президент Международной ассоциации физиков-океанологов. Его научная группа с начала 2000-х годов занимается изучением глубоководных течений в Атлантическом океане, и мы с большим энтузиазмом присоединились к этой работе. Первая совместная экспедиция с океанологами состоялась по их инициативе в 2009 году, в ней участвовал Валерий Юрьевич. С тех пор экспедиции проводятся ежегодно, и мы принимаем в них участие.

Что в данном случае является предметом изучения? С поверхности океана и даже из космоса хорошо видны тёплые течения, которые зарождаются на Экваторе и несут тепло (например, Гольфстрим). Они обогревают целые континенты, поэтому понятно, что данное явление

чрезвычайно важно для формирования погоды, влияет на климат. Мы как математики и механики изучаем, как устроены такие течения. Оказывается, это достаточно сложные процессы.

Когда тёплые течения приходят в высокие широты, в частности к Антарктиде, вода охлаждается и возвращается туда, откуда пришла. Происходит круговорот, но холодная вода при этом возвращается уже в виде придонных течений.

Атлантический океан устроен следующим образом: подводный Срединно-Атлантический хребет делит его на две части, восточную и западную. Глубина воды непосредственно над хребтом примерно четыре километра, а в углублениях местами достигает 9 км. Эти бассейны имеют ячеистую структуру: котловины, разделенные стенками. Холодная вода, опускаясь от Антарктиды, заполняет эти котловины и проникает до Экватора.

Существует устойчивый термин — антарктическая донная вода. Эта вода в западной части Атлантики доходит фактически до побережья Канады, а в восточной — до широты Гибралтара. И что самое интересное — она заполняет котловины, а перетекает через смежные подводные хребты, расположенные на глубине до 4 км, по системе естественных каньонов.

Масштабы этих каньонов впечатляют по сравнению с известными каньонами на поверхности Земли. В некоторых местах они достигают в длину 700—800 километров и в ширину до 30 км, разрезая при этом пересекаемый подводный хребет на глубину до 500 метров. По сути это гигантские подводные реки с ледяной антарктической водой, которая распространяется по химическому составу, по температуре, не очень сильно смешивается с вышележащими слоями. Причём смешивается там, где перекачивается через пороги, образуя мощные подводные водопады высотой до 500 метров, которые и были обнаружены как раз в ходе этих экспедиций. На больших глубинах такие течения имеют малые скорости, поэтому водопад — это, конечно, сильно сказано. Поскольку температурный перепад плотности воды по глубине очень маленький, всё происходит как в замедленном кино. Но зато потоки воды там гигантские.

Так, в экваториальной части Атлантики есть разломы Романш и Чейн, каждый из которых по мощности сравним с Амазонкой. Такие «Амазонки» текут по морскому дну, и там, естественно, есть перепады, пороги, водопады, заводи, подводные озёра — словом, завораживающий подводный мир.

**В.Ю. Ляпидевский:** Наша задача — объяснить и математически, и с точки зрения физики — почему вообще происходит перемешивание воды. Казалось бы, если вода холодная — она себе течёт и течёт, ведь на глубине четырёх километров нет ветра и других факторов, способствующих сильному перемешиванию плотной антарктической воды с более нагретой и менее плотной окружающей жидкостью. Оказывается, одним из определяющих факторов, приводящих к интенсификации этого вертикального перемешивания, является наличие в течениях подводных рек резких перепадов глубин, приводящих к возникновению подводных водопадов. Процессы перемешивания вод различного происхождения очень важны, потому что влияют, в том числе, и на глобальный климат.

— Глобальные колебания климата — актуальная тема, вы тоже ею занимаетесь?

— За этим учёные-океанологи внимательно следят. В частности

наблюдают, повышается ли температура антарктических вод, потому что небольшое изменение даже на градус для антарктической воды привело бы к очень серьёзным последствиям для всего океанического бассейна. Пока устойчивого тренда повышения температуры не зафиксировано. Тем не менее, сами механизмы прогревания придонных вод очень важны, их надо объяснить с использованием подходящих математических моделей.

**Н.И. Макаренко:** Их надо внимательно изучать, потому что эти механизмы, на самом деле, только начинают проявляться. Так, во время одной из наших экспедиций в 2010 году в небольшом подводном каньоне Кейн была поставлена донная станция — измерительный комплекс, который в течение года работал и снимал информацию. Через год, во время очередной экспедиции, станция была поднята. После расшифровки информации было зафиксировано интересное явление: направление течения воды в этом каньоне между двумя соседними котловинами переменное. Пару месяцев холодная вода течет в одну сторону, затем — в другую. Почему так происходит — загадка природы.

В сущности, мы имеем дело с чем-то вроде нагревательного котла, отопительной системой для континентов с «обраткой», принцип действия которой для нас, сибиряков, хорошо знаком: аналогом является батарея, в неё поступает горячая вода, которая, охлаждаясь, возвращается обратно в систему. Но как устроена такая отопительная система в природе, как работает и каковы механизмы, управляющие подводными потоками — это и есть предмет изучения. Здесь ещё много неизвестного, много загадок.

Кроме теоретического обоснования, которым мы занимаемся, есть ещё и экспериментальная часть, есть возможность моделировать подводные течения на лабораторном уровне для более полного понимания всего процесса.

Так, по инициативе Валерия Юрьевича, у нас в Институте гидродинамики в 2006 году был поставлен эксперимент. В резервуаре с наклонным дном моделировалась ситуация морской стратификации: снизу — тяжёлая жидкость, сверху — лёгкая. На наклонной плоскости организуется поток, так называемое гравитационное течение более тяжёлой жидкости, оно скатывается вниз. Получается интересная ситуация — поток доходит до определённого горизонта, где раздваивается. Придонная часть этого потока идёт дальше вниз, а слегка перемешанный промежуточный слой находит свой уровень плотности, где происходит расщепление течения. А поскольку весь слой подкрашивается, всё хорошо видно. И когда эту картинку увидели наши московские коллеги-океанологи, они были поражены, потому что ровно то же самое видно на профилях скорости течения, измеряемых в океане.

Это реальный процесс, настоящий механизм, который лежит в основе данного изучаемого природного явления. Он объясняет, почему перемешивание морской придонной воды происходит именно так, а не иначе. Это — экспериментальный факт. Сейчас наша группа работает над созданием соответствующих математических моделей.

**В.Ю. Ляпидевский:** Кроме того, в течение практики всей своей научной жизни мы были вовлечены также в исследование нелинейных волновых процессов в Японском море. У нас хорошие контакты с Тихоокеанским океанологическим институтом, а в последние годы в рамках конкурса Сибирского и Дальневосточного отделений



РАН мы выиграли грант, позволяющий изучать внутренние волны в прибрежной зоне Японского моря. Изучаем мы их не только теоретически, но и участвуем в экспедиционных работах и даже разрабатываем соответствующую аппаратуру.

— Скажите, пожалуйста, а изучение волновых процессов в океане как-то связано с прогнозированием цунами, что является достаточно актуальной темой, или это какие-то иные процессы?

**Н.И. Макаренко:** Здесь затрагивается немного другой аспект. По изучению цунами во многих лабораториях мира ведутся теоретические и экспериментальные работы. Это достаточно редкое, но крайне разрушительное по своим последствиям явление, поэтому хочется научиться предсказывать возможность возникновения цунами. Но мы больше занимаемся изучением внутренних волн, то есть тех, которые зарождаются в толще слоя воды, океана. Возникают они из-за разницы температур. Вода, как правило, неоднородно прогрета, сверху — более тёплая, далее — всё холоднее и холоднее, как слоёный пирог, и эти слои могут волноваться за счёт мощных внешних источников — например, приливных течений, которые при взаимодействии с рельефом дна образуют регулярные внутренние волны большой амплитуды, достигающие берега. Эти процессы повторяются изо дня в день, так что наблюдения за «накатом» на берег внутренних волн позволяют выявить и некоторые новые закономерности, которые полезны в том числе и для моделирования поверхностных волн цунами.

**В.Ю. Ляпидевский:** Здесь уместно вспомнить, как ведут себя поверхностные волны, когда выходят на берег. Думаю, каждый видел, как такая волна обрушивается, набегая на берег и затем отступая. А вот что делается под водой при выходе внутренней волны, мало кто себе представляет. Мы разработали специальные измерительные установки, которые сейчас используем вместе с Институтом неорганической химии СО РАН и нашими дальневосточными коллегами. Они по-

зволяют зафиксировать то, что невозможно увидеть при помощи стандартной океанологической аппаратуры.

Оказывается, при определённых условиях, характерных для большинства приливных морей, в прибрежной области генерируются интенсивные внутренние волны, существенно влияющие на гидродинамику в шельфовой зоне моря. Распространение таких волн приводит к различным последствиям, в том числе влияет на экологическую обстановку и биопродуктивность прибрежных вод. В пресных водоёмах также происходят аналогичные процессы, так что и здесь есть определённые экологические аспекты, которые до конца не поняты.

Думаю, что в этом плане мы не отстаём от других стран, у нас хорошая теоретическая часть. В наших лабораториях с самого создания института занимаются нелинейными проблемами динамики жидкости, и у нас очень хорошее взаимодействие с экспериментаторами. Сейчас появилась новая техника, позволяющая не только качественно, но и количественно дать оценки того, что происходит в глубинах морей. Связь лабораторного эксперимента, вычислительных методов и теоретических подходов позволяет дать комплексный ответ на поставленные проблемы.

**Н.И. Макаренко:** Мне часто приходится объяснять студентам, почему эти проблемы важны и интересны, и я вспоминаю такую вещь. Зарубежные коллеги иногда задают нам вопрос: «Вы живете в Новосибирске, в Сибири, до ближайшего побережья океана — примерно две тысячи километров, зачем вам морская гидродинамика?» А ответ лежит на поверхности: где-то мне попадало на глаза утверждение о том, что во многих странах до 80 процентов населения живет не далее 200 км от берега. Жизнь на побережье даёт много преимуществ, но она там может представлять и большую опасность: наводнения, тайфуны, ураганы, штормы. Поэтому востребованность знаний, которые мы создаём, очень велика.

Е. Садыкова, «НВС»  
Фото В. Новикова