

© Н. Н. Корчагин^{1,2*}, В. Г. Нейман¹, А. А. Родионов^{1,3}, А. П. Мирабель¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Нахимовский пр., д. 36, г. Москва, Россия

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, 2-я Бауманская ул., д. 5, г. Москва, Россия

³Санкт-Петербургский научный центр РАН, 199034, Университетская наб., д. 5, г. Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: e-niknik@mail.ru

ОКЕАН, АТМОСФЕРА, ЗЕМЛЯ И КОСМОС В ТРУДАХ ВЫДАЮЩЕГОСЯ УЧЕНОГО И ОРГАНИЗАТОРА НАУКИ АНДРЕЯ СЕРГЕЕВИЧА МОНИНА

столетию со дня его рождения посвящается



А. С. Монин

В 2021 году исполняется 100 лет со дня рождения Андрея Сергеевича Монина – уникального ученого, обладавшего глубокими знаниями во многих областях науки. С уходом Андрея Сергеевича научный мир потерял одного из ярчайших его представителей. Гениальный аналитический ум этого ученого охватывал и проникал во многие сокровенные тайны природы; энциклопедическая разносторонность и глубина мысли поражали воображение. Нам, его ученикам и всем, кто общался с ним, казалось фантастической возможностью одного человека не только вместить огромный запас знаний, но и активно и плодотворно оперировать им, причем в областях, порой далеких от его научных интересов. Он плодотворно работал в таких областях науки как метеорология, физика атмосферы и океана (включающая турбулентность, динамику атмосферы, океанские волны, вихри и течения, взаимодействие атмосферы и океана, прибрежную океанологию), теория климата, физика земных недр, геофизическая гидродинамика, геомеханика и гидрохимия, тектоника литосферных плит, гео и биология и т. д. Кажется невероятным тот факт, что человеческому мозгу под силу вместить весь этот огромный запас знаний.

И все это Андрей Сергеевич Монин – выдающийся ученый, академик РАН, академик РАЕН, иностранный почетный член Американской Академии искусств и наук (1973), иностранный член Национальной академии США (1976), почетный доктор Гетеборгского университета (1986), лауреат государственной премии СССР (1980), лауреат премии им. А.А. Фридмана РАН.

Андрей Сергеевич Монин родился в Москве 2 июля 1921 г. В 1938 г. он поступил на знаменитый механико-математический факультет МГУ, окончил его, и сразу в 1942 г. был принят в аспирантуру. Еще во время учебы А.С. Монин неоднократно пытался попасть добровольцем на фронт, и только в 1943 г. после окончания курсов военных синоптиков он был направлен командиром фронтовой метеостанции. На фронте награжден медалью «За боевые заслуги».

По окончании войны в 1945 г. он был откомандирован в Центральный институт прогнозов Красной Армии. Дальнейшее научное направление А.С. Монина определилось в аспирантуре НИИ математики МГУ (1946—1949 гг.) под руководством выдающегося математика XX в. Андрея Николаевича Колмогорова. В 1949 г. он защитил кандидатскую диссертацию, а в 1956 г. блестяще защитил докторскую диссертацию по теории турбулентной диффузии – одно из сложнейших направлений в гидродинамике, куда вошли его замечательные результаты по лагранжевому описанию диффузии.

В дальнейшем в течение нескольких лет А.С. Монин успешно совмещал активную научную деятельность с ответственной работой в аппарате ЦК КПСС в качестве заведующего сектором Отдела науки и вузов.

Динамическая метеорология и теория турбулентности – самые ранние и серьезные увлечения А.С. Монина с известными публикациями монографий и многочисленных статей. А.С. Монин вместе с А.М. Обуховым решили проблему адаптации метеорологических полей на базе закона сохранения адиабатического инварианта – потенциального вихря и уравнений гидродинамики. Они показали, что процесс адаптации атмосферы к состоянию геострофического равновесия достигается после генерации и рассеяния быстрых акустических и внутренних гравитационных волн и смогли выделить область применения к краткосрочному прогнозу погоды сбалансированных примитивных уравнений и систем в квазигеострофическом и квазисоленоидальном приближениях. Рассчитанные по этим уравнениям синоптические колебания поля давления в атмосфере позволяют, в конечном счете, вычислять температуру воздуха, ветер, изменчивость облачности, осадки и другие параметры.

А.С. Монин четко определил неадиабатическую природу долгосрочного прогноза погоды. В таких процессах атмосфера в целом должна рассматриваться не как изолированная энергетическая система, а как часть единой системы: атмосфера – деятельный слой подстилающей поверхности (А-ДС). При этом атмосфера играет роль малоинерционной системы, а море, наоборот, обладает большой тепловой инерцией. В этом случае наиболее существенным начальным условием для долгосрочного прогноза погоды должно быть поле температуры в деятельном слое Мирового океана. Здесь А.С. Монин обратил внимание на важную роль облачности как наиболее эффективного регулятора потока солнечной радиации, он же предложил упрощенную модель системы А-ДС. Основные результаты А.С. Монина были изложены в его замечательной книге «Прогноз погоды как задача физики» (1969).

В этом направлении А.С. Монин совместно с С.С. Зилитинкевичем были организованы работы по численному моделированию совместной циркуляции атмосферы и океана (1976). Здесь роль взаимодействия атмосферы и океана в колебаниях климата может быть проиллюстрирована на примере потепления XX в., во время которого потепление охватило в основном океаны, особенно Арктику, а на материках, наоборот, наблюдалось небольшое похолодание. Еще более ярким примером оказался «малый ледниковый период» XVII – XIX столетий.

Ряд фундаментальных результатов А.С. Монин получил по механике турбулентности. В частности, построение системы замкнутых уравнений для вторых моментов локально-изотропной и анизотропной турбулентности в термически стратифицированной среде, лагранжево описание турбулентной диффузии с конечной скоростью распространения, вывод эволюционных уравнений для конечномерных распределений вероятности поля скорости в турбулентном потоке.

Общие соображения теории размерностей и подобия и физический анализ задач влияния стратификации в приземном слое на физические поля привели А.С. Монина к выводу о том, что изменения скорости ветра и температуры должны определяться значениями вертикального потока импульса и потока тепла. Этот факт позволяет выразить вертикальные градиенты средней скорости и температуры посредством универсальных функций от безразмерного параметра, представляющего отношение высоты к «высоте подслоя динамической турбулентности», определяемой как «масштаб длины Монина-Обухова». Этот масштаб играет центральную роль в теории турбулентности в приземном и придонном слоях атмосферы, а также в приповерхностном и придонном слоях моря.

Среди крупнейших публикаций того времени знаменитый двухтомник «Статистическая гидромеханика», опубликованный совместно с А.М. Ягломом в 1965–1967 гг. и дважды переизданный в 1992 и 1997 гг. Это классическое произведение, которое уже более полувека является настольной книгой по турбулентности любого физика-исследователя. Двухтомник посвящен систематическому изложению механики турбулентных течений, являющейся важнейшей частью современной гидромеханики. Первый том содержит изложение основ гидродинамической неустойчивости скорости течения и перехода к турбулентности, а также описание основных положений теории турбулентных течений в трубах, каналах и пограничных слоях. Специальные разделы монографии посвящены турбулентным течениям в термически стратифицированной среде и распространению в них примесей, играющим важную роль в метеорологии, океанологии и экологии. Во втором томе содержится изложение теории изотропной и локально изотропной турбулентности.

Андрей Сергеевич Монин проявил неординарные организаторские способности, преданность науке и энциклопедические знания на посту директора Института океанологии им. П.П. Ширшова Академии наук СССР. С его приходом в Институт резко активизировались исследования по проблемам физики, химии, геологии и биологии океана, были сделаны важные фундаментальные открытия. Под его руководством (в период с 1965 по 1987 гг.) Институт океанологии стал единым, известным и ведущим не только у нас в стране, но и во всем мире центром притяжения океанологов. Активно внедрялись сложнейшие технические устройства, вершиной которых стали уникальные глубоководные подводные аппараты. Это было золотое время в истории Института и всей океанологии в целом.

По инициативе А.С. Монина и под его непосредственным руководством были успешно выполнены эксперименты с аппаратами «Аргус», «Пайсисы», связанные с глубоководными исследованиями в Черном море, о. Байкал, Красном море и ряде районов Мирового океана (в некоторых из этих погружений в морские глубины Андрей Сергеевич принимал личное участие в роли гидронавта-наблюдателя).

Примечательно отметить, что в одном из глубоководных погружений на красноморские рифты гидронавты стали свидетелями необычного явления. Оно сопровождалось открытием фантастического мира придонных озер – горячих донных рассолов с соленостью почти на порядок выше солености океанских вод. Перед гидронавтами предстало феерическое зрелище внутреннего прибоя, накатывающегося на подводные «берега» сверхсоленого «озера» и затем струями скатывающегося вниз. Здесь впервые наблюдался необычный эффект проявления процесса спрединга не в открытом океане, а в относительно узком Красном море.

Неоценимый вклад А.С. Монин внес в открытие и исследование динамики вихревых структур в Мировом океане. С его активным участием были организованы и осуществлены международные проекты по обнаружению вихревых структур в открытом океане. Такие проекты как «ПОЛИМОДЕ», экспедиции «Полигон-70», «Мезополигон» и «Мегаполигон» получили мировое признание. Причем его активное участие в этих проектах в качестве идеолога, организатора представляют Андрея Сергеевича как равноправного участника важного открытия свободных синоптических вихрей в Мировом океане.

Ряд основных работ Андрея Сергеевича был посвящен гидрофизике океана от исследования наиболее мелкомасштабных процессов (турбулентность, микроструктура, капиллярные волны), поверхностных и внутренних волн, циркуляции Ленгмюра, сейш, инерционных колебаний, приливов и до крупномасштабных явлений (экваториальные противотечения, меандры, ринги, геострофическая турбулентность). Среди этих работ – теория турбулентности, а также динамическая метеорология – самые ранние и долговременные научные увлечения А.С. Монины, начиная с кандидатской и докторской диссертаций и кончая известными многочисленными статьями и монографиями. К ним относятся двухтомник «Физика океана» (1978) из десяти томного собрания «Океанология» (1, 2 том – Физика океана, 3, 4 – Химия океана, 5, 6 – Геология океана, 7, 8 – Геофизика океана, 9, 10 – Биология океана). Создание этого капитального труда коллективом ученых Института океанологии составляет большую заслугу А.С. Монины как инициатора и научного руководителя, оказывавшего огромное стимулирующее влияние на всех авторов десяти томника. Среди других книг следует отметить его публикации с соавторами: «Изменчивость Мирового океана» (Каменкович, Корт, Монин, 1974), «Океанская турбулентность» (Монин, Озмидов, 1981), «Синоптические вихри в океане» (Каменкович, Кошляков, Монин, 1982) (изд. 2-е перераб. и доп. 1987), «Явления на поверхности океана» (Монин, Красицкий, 1985), «Амазония» (Монин, Гордеев, 1988), «Мезоокеанология» (Корчагин, Монин, 2004).

Важной составляющей деятельности Андрея Сергеевича, которая находилась в тени, являются его исследования в области прикладной гидрофизики в интересах обеспечения безопасности страны с морских направлений. Он являлся научным руководителем ряда научно-исследовательских работ по созданию средств подводного наблюдения. В этих работах были заложены теоретические основы, которые в дальнейшем позволили создать перспективные технические средства борьбы в подводной среде.

Значительный цикл исследований А.С. Монины посвящен планетологии: гидродинамическим проблемам эволюции планет и их недр. В частности, процессу гравитационной дифференциации веществ внутри Земли, плотностной конвекции ее мантии, геомагнетизму и движению полюсов. Результаты этих исследований стали оригинальным вкладом в произошедшую во второй половине прошлого столетия революцию в глобальной геологии нашей планеты, генетически объясняя тектонику литосферных плит в книгах «История Земли и климат» (1977), «Популярная история Земли» (1980), «Перспективы развития современной геологии» (1983), «Ранняя геологическая история Земли» (1987).

А.С. Монин заложил основы геофизической гидродинамики как теоретической науки на вращающихся планетах, сформулировав общие принципы гидродинамики атмосферы, океана, жидких недр планет. Эти принципы он изложил в работах «Теоретические основы геофизической гидродинамики» (1988) и «Космология, гидродинамика, турбулентность» (1989). Глубокое обобщение результатов работ А.С. Монины представлено в книге «Гидродинамика атмосферы, океана и земных недр» (1999), логически сформированной на основе геофизической гидродинамики и скомпонованной из всех его статей, изданных только в «Докладах Академии наук». По существу, эта книга представляет комплекс теоретических и экспериментальных исследований, фундаментально и полно описывающих динамику процессов в основных сферах Земли: атмосфере, океане и ее внутренних слоях.

Фундаментальным результатам по теории климата были посвящены его книги «Вращение Земли и климат» (1972), «История климата» (1977), «Солнечный цикл» (1980), «Введение в теорию климата» (1982). К этой проблематике А.С. Монин обращался на протяжении всей своей научной деятельности. В продолжение этих исследований остановимся на его последних работах.

В первом десятилетии XXI в. А.С. Монин обратил внимание на проблему современного глобального потепления климата. Полагая, что существующие климатические модели недостаточно совершенны, и на их основе делать заключения о природе этого явления еще рано, он посчитал более перспективным анализ инструментальных наблюдений потепления в сравнении с имеющимися косвенными данными об изменениях климата в прошлом. С этой целью были собраны данные о прошлом климате, начиная с рядов годовых приростов многовековых старых деревьев и кончая вариациями химического состава льда в ледниковых кернах Антарктиды. При этом им впервые как инструмент анализа не только в отечественной, но и в мировой практике палеоклиматологов использовано вейвлетное преобразование анализируемых рядов. В результате А.С. Монин показал, что климатические колебания не являются хаотичными,

а внутренне организованными в широком диапазоне временных масштабов. В этом случае межгодовые и многодекадные климатические колебания выступают как «аккорды» на фоне основной «мелодии», представленной многовековыми и многотысячелетними вариациями климата. Андрей Сергеевич предположил, что основой этой «полифонии» являются долгопериодные вариации активности Солнца, вызываемые его обращением вокруг общего центра масс Солнечной системы. Основным периодом этого обращения (согласно западным исследователям) составляет около 180 лет и имеет сложную внутреннюю структуру, отчего часто называется тройственным (или тройным). Следует отметить, что среди специалистов по физике Солнца преобладала точка зрения, что Солнечное динамо хаотично. Следовательно, солнечная активность не может быть чувствительна к гравитационным воздействиям планет на Солнце. Однако, будучи хорошо знаком с проблемой Солнечного динамо, А.С. Мониин посчитал, что тройной цикл обращения Солнца вокруг центра масс Солнечной системы может оказывать существенное влияние на солнечную активность и, следовательно, на земной климат в целом. Итоги этих исследований позднее были суммированы в книге А.С. Мониина и Д.М. Сонечкина «Колебания климата по данным наблюдений. Тройной солнечный и другие циклы» (М. : Наука, 2005).

Из большого числа своих публикаций Андрей Сергеевич особо выделял последнюю книгу «Десять открытий в физике океана» (М. : Научный мир, 2008, в соавторстве с Н.Н. Корчагиным), считая ее своей заключительной итоговой публикацией по океанологии. В этой книге авторами были суммированы накопившиеся сведения о Мировом океане, ограниченном снизу и боков причудливой формой рельефа дна и береговых линий континентов, с толщей соленой воды со средней глубиной около 3800 метров, с многочисленными разбросанными на ее поверхности островами и разнообразной формой жизни на всех её глубинах.

Отметим, что форма дна океана и формирующие его рельеф процессы существенным образом влияют на динамику и изменчивость свойств его вод. Поэтому под словом Океан и его физикой подразумевается более широкое понятие, охватывающее не только содержание и свойства вод, но и структуру его дна, которая, естественно, обусловлена внутриземными процессами мантийной конвекции. В свою очередь, с последней связаны такие явления как спрединг и субдукция. В этой книге среди крупных открытий в области океанологии были выделены следующие явления:

- (1) Спрединг – процесс, происходящий при раздвижке литосферных плит.
- (2) Субдукция – процесс, происходящий при пододвигании литосферных плит, движущихся навстречу друг другу.
- (3) Черные курильщики – подводные гейзеры на дне океанов с температурами и давлениями критических значений точки Менделеева. Формирование холмов гейзеритов с большими концентрациями сульфидных руд ценных металлов. Образование первичного биологического вещества на больших глубинах путем хемосинтеза. Их открытие на глубоководном обитаемом аппарате «Алвин» – 1979.
- (4) Цунами – «Волны в гавани», катастрофические волны, возбуждаемые точечными взрывоподобными подводными землетрясениями в зонах субдукции в результате резких подвижек взаимодействующих между собой литосферных плит. Известны из японских источников уже многие сотни лет.
- (5) Подводный звуковой канал, обусловленный существованием глубинного минимума скорости звука, создаваемый ее убыванием с глубиной из-за понижения температуры воды и последующим возрастанием вследствие роста давления.
- (6) Ступеньки – явления, образующиеся при расслоении океанских вод вследствие двойной диффузии тепла и соли, а также интрузий. Открыты, Дж. Тернером, М. Стерном в 1960-е годы.
- (7) Экваториальные глубинные противотечения – необычные течения в экваториальной зоне океанов под пассатными течениями, направленные в противоположную сторону – на восток; обнаружены в Тихом океане в 1952 г. (течение Кромвелла); в Атлантике в 1959 г. (течение Ломоносова); в Индоокеане в 1960 г. (течение Тареева).
- (8) Ринги Гольфстрима – своеобразные структуры синоптических течений, образующиеся в результате потери устойчивости меандров Гольфстрима и их отсечения.
- (9) Свободные синоптические вихри открытого океана – обнаружены во время эксперимента на Аравийском полигоне в 1967, а в 1970 они были выявлены на полигоне в тропической Атлантике. Эти результаты были подтверждены международной экспедицией «ПОЛИМОДЕ» (1977–1979) в Саргассовом море, а затем в экспедиции «Мегаполигон» (1985) в Тихом океане к северу от течения Куроисио. Подобные вихри были обнаружены практически на всех глубинах от поверхности до дна глубокого океана. Стало ясно, что свободные синоптические вихри открытого океана широко распространены в Мировом океане.

(10) *Геострофическая турбулентность – явления в океане, играющие роль возвращающей силы в релаксационных автоколебаниях при межконтинентальном водообмене с периодом от нескольких сотен до полутора тысяч лет. Замечены в 1966 г. С.В. Бруевичем, описаны в 1984 г. С.С. Лапто и в 1985 У. Брокером.*

Андрей Сергеевич Монин был неутомимым тружеником. В целом им написано несколько десятков монографий и брошюр, более 600 статей (из них только в Докладах РАН 114) в отечественных и зарубежных изданиях. Почти все книги А.С. Монина переведены на иностранные языки. Он также был переводчиком и редактором более 70 книг по перечисленным выше проблемам. Наиболее полно список всех этих работ с аннотированной библиографией представлен в книге «Жизнь и разум» (Москва : Наука, 2007, совместно с Н.И. Солнцевой).

Андрей Сергеевич Монин много времени уделял педагогической, научно-организационной и общественной деятельности. Как профессор Московского физико-технического Института он читал на протяжении многих лет курсы лекций по теории турбулентности и по геофизической гидродинамике. Он создал научную школу по геофизической гидродинамике, удостоенную гранта Президентской программы поддержки научных школ (1996 г.).

А.С. Монин был членом бюро Ассоциации «Экологи и мир». Его гражданская позиция ярко проявилась при обсуждении проблем Ленинградской дамбы, Аральского моря, поворота северных рек. Она была обоснованной и неизменной – человек должен как можно меньше вмешиваться в естественный ход эволюции окружающей его природы. Жизнь подтверждает правоту этой позиции.

Достижения А.С. Монина в науке и решении проблем становления океанологии в стране были отмечены государственными наградами – среди них два ордена Трудового Красного Знамени, орден Октябрьской Революции, орден Отечественной войны, Орден Дружбы народов и двенадцать медалей.

Несмотря на возраст и проблемы со здоровьем А.С. Монин до последних дней продолжал рождать оригинальные научные идеи и совместно со своими коллегами и учениками материализовать их в публикациях.

Андрей Сергеевич Монин ушел из жизни в сентябре 2007 года.

Ученики и коллеги Андрея Сергеевича Монина признательны судьбе, подарившей им возможность непосредственного личного общения и совместной работы с ним – этим блестящим ученым и выдающимся организатором науки, память о котором стала неотъемлемой частью незабываемых лет славной истории Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Статья подготовлена в соответствии с госзаданием по темам № 0128-2019-0002 (Н.Н. Корчагин, В.Г. Нейман, А.П. Мирабель) и № 075-00689-21-00 (А.А. Родионов).