

ВОЛЬФ АБРАМОВИЧ ШНАЙДМАН. НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

(Бремя моих страстей)

Желание описать свою научную деятельность от студенческой дипломной работы до написания докторской диссертации и до настоящего времени у меня появилось после прочтения повести Моэма «Бремя страстей человеческих». Захотелось освежить переживания, с которыми был связан этот период моей жизни.

Другим стимулом написания этого эссе стало успешное завершение моего длительного научного поиска решения проблемы моделирования атмосферного пограничного слоя.

Одесский гидрометеорологический институт(1952-1957)

Научной деятельностью я увлёкся ещё в институте. Начиная с третьего курса, всей моей работой руководил Георгий Иванович Перелёт, доцент кафедры динамической метеорологии, которому я обязан своими успехами в институте и последующей научной работе. Мы неоднократно обсуждали мои перспективы в науке. Георгий Иванович считал, что для этого мне необходимо продолжить своё образование в солидном научном учреждении.

Тут мне повезло. Летом 1956 г. к нам в институт приезжает крупный учёный, заведующий кафедрой динамической метеорологии Ленинградского Гидрометеорологического Института (ЛГМИ), начальник отдела физики пограничного слоя Главной Геофизической Обсерватории (ГГО) Давид Львович Лайхтман. К этому времени Давид Львович создаёт новый раздел динамической метеорологии- физику пограничного слоя. Он рассказывает преподавателям и студентам о своём пребывании на полярной станции Северный полюс (номер не помню). Георгий Иванович представляет меня нашему гостю с лестной для меня характеристикой и просит принять меня на преддипломную практику в ГГО.

С согласия Давида Львовича я в начале 1957г. оказался в Ленинграде, в отделе физики пограничного слоя ГГО. Благодаря помощи сотрудников отдела я успешно осваиваю основные положения теории Давида Львовича. После окончания практики он предложил мне выполнить дипломную работу под его руководством. Я был очень польщён этим предложением. Но я считал, что обязан закончить исследования, выполняемые под началом Георгия Ивановича. Об этом я сообщил Давиду Львовичу, который ответил, этот вопрос он согласовал с Георгием Ивановичем, что он не только согласен, но и рад тому, что его ученик продолжит свою научную работу в отделе, руководимом Давидом Львовичем.

Я постарался выполнить дипломную работу как можно быстрее, чтобы успеть закончить исследования совместно с Георгием Ивановичем. Мне удалось это сделать. Моя дипломная работа была одобрена Давидом Львовичем, впоследствии опубликована, а Давид Львович предложил мне поступать к нему в аспирантуру.

Он прочитал мне письмо, которое он написал ректору института Кобусу Г.Л., и попросил передать его. В письме Давид Львович рекомендовал оставить меня на работу в институте и предлагал своё руководство моей преподавательской работой и научными исследованиями, к которым, по его мнению, у меня были несомненные способности. Прочитав письмо, ректор сказал: «Вы можете считать себя ассистентом».

Я успешно защитил дипломную работу, стал обладателем красного диплома, который обычно выдаётся вместе с направлением в аспирантуру. Но ни направления в аспирантуру, ни приглашения на работу я не получил. Я понятия не имел, что произошло за моей спиной перед окончанием института. Я узнал об этом лишь через несколько лет.

Осенью 1962 года я проведаль тяжело больного Георгия Ивановича. Через месяц он ушёл из жизни. Георгий Иванович рассказал мне, что произошло в институте перед моим окончанием.

Оказалось, что на обсуждении моей дипломной работы директор Центрального института прогнозов, председатель комиссии по защите дипломов, категорически возражал против отличной оценки моей работы, мотивируя тем, что теоретические исследования не нужны советской метеорологии. Однако члены комиссии настояли на отличной оценке, но направления в аспирантуру им отстоять не удалось.

Ректор института предложил мою кандидатуру ассистента двум заведующим ведущих кафедр института, но они отказались. Георгий Иванович не стал объяснять мне их неблагоприятный с его точки зрения поступок.

Таким образом, я отправился в Омское управление Гидрометслужбы вместе с Татьяной, моей женой.

Омское управление Гидрометслужбы (1957-1958)

В Омском управлении Гидрометслужбы я проработал год в Бюро погоды. Вначале я выполнял обязанности дежурного синоптика, но через три месяца в мои обязанности вошло выполнение научной работы.

Выполнение научной работы по изучению местных условий развития погодных явлений было обязательным, т.к. Бюро погоды являлось научным центром прогноза в управлении. Мои коллеги с удовольствием передали всю научную работу в мои руки. Одновременно я стал проводить семинары, где знакомил моих коллег с современными методами прогноза. В этот период в бывшем Советском Союзе стали разрабатываться гидродинамические прогнозы и использоваться электронные вычислительные машины (ЭВМ). К слову, численные прогнозы стали одной из первых задач в бывшем СССР, которые стали решаться с использованием ЭВМ. Научным руководителем исследований по численным прогнозам стал Илья Афанасьевич Кибель, известный гидродинамик, член-корреспондент Академии наук. Я познакомился с Ильей Афанасьевичем во время

производственной практики в Институте прогнозов. Я с удовольствием посещал семинары, где Илья Афанасьевич излагал свои подходы к численному прогнозированию динамики атмосферных процессов. Благодаря этим семинарам и статьям Ильи Афанасьевича, я стал интересоваться численными методами решения метеорологических задач, которые мне очень пригодились в моей будущей научной работе.

Я поддерживал контакты с Давидом Львовичем, который посоветовал мне поступить хотя бы в заочную аспирантуру. В очную я мог поступить, лишь отработав по направлению института в Омске три года.

Моя работа продолжалась. В обязанности дежурного синоптика входило ежедневное ознакомление начальника управления с прогнозами для передачи их руководству города и области. Таким образом, я встречался с начальником управления. Из этого общения я понял, что у меня нет шансов покинуть Омск, не отработав три года.

Мне опять повезло. Весной 1958 года в Омское управление был назначен новый начальник Казачков С.Д., с которым у меня сложились почти дружеские отношения.

На одной из наших встреч разговор зашёл об аспирантуре. Я объяснил сложившуюся ситуацию. Казачков отреагировал немедленно: «Сообщите сейчас же Давиду Львовичу Лайхтману, что этой осенью (1958) Вы получите открепление и будете поступать к нему в аспирантуру».

В сентябре 1958 года я прибыл в Ленинград, а Татьяна вернулась в Одессу.

Ленинград, Главная Геофизическая Обсерватория (ГГО), аспирантура (1958-1960).

Я успешно сдал вступительные экзамены и был принят в аспирантуру ГГО. Естественно, моим руководителем стал Давид Львович. Предполагалось, что в диссертации я продолжу свои исследования по атмосферному пограничному слою, начатые в дипломном проекте. Но обстоятельства изменили эти планы.

В 1958 году начались регулярные полёты реактивного самолёта ТУ-104 по маршруту Омск-Москва на высотах 8-10км. На этих высотах отсутствуют облака и соответственно считалось, что болтанка самолёта здесь не наблюдается.

Однако уже при первых полётах оказалось, что при ясном небе наблюдалась болтанка вплоть до сильной. Один из пассажирских самолётов оказался в зоне такой болтанки. При попытке вывести самолёт из этой зоны, произошла катастрофа: самолёт разломало на части и более ста пассажиров погибло.

Необходимость исследования турбулентности ясного неба (ТЯН), как его назвали позже, не вызывала сомнений. Метеорологи предупреждали об этом руководящие органы страны ещё до начала регулярных полётов. Но на это предупреждение не обратили внимания.

Лишь после катастрофы вышло постановление правительства, согласно которому трём ведущим научным центрам поручалось немедленно начать исследования явления ТЯН и выделялось финансирование.

Были указаны три главных направления: физика (Главная Геофизическая Обсерватория), прогноз (Гидрометеорологический Центр, ГМЦ), экспериментальное исследование (Центральная Аэрологическая Обсерватория, ЦАО).

В ГГО руководство исследованиями ТЯН возложили на Давида Львовича, который предложил мне переключиться в диссертации на исследование физических механизмов формирования турбулентных зон в свободной атмосфере. Давид Львович полагал, что для этой цели можно будет воспользоваться подходами, используемыми мною при изучении пограничного слоя. Ожидания Давид Львович полностью оправдались. Были разработаны методы количественной оценки параметров турбулентных зон в свободной атмосфере.

Появилась необходимость верификации предложенных методов по экспериментальным данным ЦАО. Началось моё сотрудничество с учёными ЦАО, которое продолжалось много лет после завершения диссертации.

В экспедициях ЦАО на специально оборудованном самолёте были получены уникальные данные по турбулентности на высотах 8-12 км. Я участвовал в полётах по маршруту Хабаровск–Владивосток–Петропавловск-на-Камчатке, где явление ТЯН наблюдалось в прибрежной полосе Тихого океана.

Экспериментальные данные подтвердили полученные нами теоретические результаты.

Разработанные теоретические подходы и экспериментально подтверждённые результаты количественной оценки параметров турбулентности ясного неба были обобщены в диссертации, опубликованы и доложены на нескольких конференциях по авиационной метеорологии.

Пока я занимался ТЯН Татьяна родила двух дочек-близнецов Леночку и Оленьку (в порядке появления на свет). Встал вопрос о переходе в заочную аспирантуру. Но попытки устроиться на работу в Одессе в 1959 году оказались безуспешными. Лишь осенью 1960 года я был принят на работу в Гидрометеорологический институт благодаря усилиям Самуила Исааковича – отчима Татьяны.

Я перешёл в заочную аспирантуру и переехал в Одессу.

***Одесский гидрометеорологический институт,
проблемная лаборатория (1960-1963)***

Проблемная лаборатория, куда я был принят на должность старшего научного сотрудника называлась: «Защита растений от заморозков и воздействие на тёплые облака и туманы».

Для защиты растений от заморозков планировалось использование гигроскопических дымовых шашек, изготавливаемых военными предприятиями в качестве мирной продукции. Мне следовало произвести теоретическую оценку влияния гигроскопических дымов на радиационное выхолаживание приземного слоя наряду с тестированием полученных результатов по данным экспериментальных наблюдений.

Мои исследования включали разработку методики и расчёт эффекта уменьшения ночного выхолаживания за счёт воздействия гигроскопических дымовых завес.

Одновременно велись измерения метеорологических условий в экспедициях в районы с различной растительностью и топографией.

Интересный факт, пока устанавливались приборы для наблюдений каждую ночь показания термометров обнаруживали заморозки на почве и в воздухе. Когда полигон был готов, заморозки прекращались иногда до конца экспедиции.

Экспедиционные данные использовались для сопоставления формирования заморозков в естественных условиях и при задымлении. Дымовая завеса уменьшала интенсивность заморозков, но, к сожалению, дымы оказались токсичными для растений и непригодными для защиты растений от заморозков.

В целом, были накоплены данные о метеорологических условиях динамики ночного выхолаживания под влиянием естественных процессов и снижении радиационного выхолаживания под воздействием дымовой завесы. Эти данные были обобщены в отчётах лаборатории, научных статьях и доложены на конференциях. В частности, одна из конференций была организована сотрудниками лаборатории в Одессе. На этой конференции Давид Львович впервые изложил свою работу по обобщению гипотезы Кармана для характерного масштаба вихрей в стратифицированном пограничном слое. Мой доклад был посвящён воздействию турбулентных потоков тепла и водяного пара на формирование заморозков.

Исследования активного воздействия на тёплые облака были посвящены оценке восходящих движений в облаках и сопоставлению их со скоростью падения пластинок гигроскопического реагента. Последние оценивались экспериментально в камерах Геофизического института. Эффект рассеяния тёплых облаков гигроскопическим реагентом тестировался на Экспериментальном полигоне Украинского научно-исследовательского института. Сухой реагент высыпался через открытую дверь самолёта, летящего над верхней кромкой облаков. Это были довольно опасные эксперименты, в которых я принимал участие. К счастью, все эксперименты прошли без каких-либо происшествий. Радиолокационные измерения оценивали изменение плотности облаков за счёт введенного реагента. Мы не получили существенного уменьшения плотности облаков. Соответственно никаких практических рекомендаций по использованию применённого реагента выработать не удалось.

В работах по воздействиям на тёплые облака принимал участие Георгий Иванович Перелёт, хотя и относился к ним весьма скептически. На полигоне я встретился с Георгием Ивановичем впервые после окончания института. Потом мы общались неоднократно, когда я приезжал в Киев на различные конференции.

Одновременно с работой в лаборатории я интенсивно трудился над завершением диссертации. Я несколько раз выступал на семинарах ЛГМИ, ГГО, ЦАО. Диссертационная работа получила положительные отзывы и была представлена к защите. Осенью 1962 года я защитил диссертацию. Учёный Совет ЛГМИ присудил мне степень кандидата физико-математических наук. Однако по существующим в бывшем СССР правилам работа была направлена в Высшую аттестационную комиссию, которая должна была утвердить решение Совета и присвоить соответствующую степень. Я ждал ответа в течение четырёх лет и дождался отрицательного решения.

**Одесский гидрометеорологический институт,
кафедра теоретической метеорологии и метеорологических прогнозов (1963-1992)**

В период моей аспирантуры ГГО приобрела электронно-вычислительную машину «Урал». Это послужило стимулом для организации группой молодых сотрудников и аспирантов семинара по изучению программирования для ЭВМ. На заседаниях семинара каждый из участников докладывал отдельные разделы пособия по программированию. Таким образом, мы постигли программирование. Семинар и хорошие пособия позволили мне накопить сведения по курсу компьютерного программирования для студентов.

Когда я вернулся в ОГМИ, я предложил декану метеорологического факультета ввести курс «Программирование для электронно-вычислительных машин». Методическая комиссия факультета ввела этот курс в учебный план кафедры синоптической и динамической метеорологии. И.В. Бут согласился принять меня для чтения этого курса только почасово. Я был вторым среди преподавателей институтов Одессы, который читал студентам курс программирования. Первым был преподаватель механико-математического факультета Одесского университета, где ЭВМ «Урал» уже работала.

Мне снова повезло. Меня вызвал Георгий Львович, ректор института.

Г.Л.: «Готовы ли Вы читать курс численных методов прогноза?»

Я: «Когда?»

Г.Л.: «Завтра».

Я: «Готов».

При выходе из кабинета секретарь мне шепнула: «У меня два приказа на подпись директору. Один – об увольнении Бута по собственному желанию, второй – о переводе Вас на кафедру синоптической и динамической метеорологии старшим преподавателем с правом чтения лекций». Дело в том, что чтение лекций разрешалось лишь кандидатам наук.

Позже секретарь мне рассказала, что профессор Бут постоянно что-то требовал от ректора. На сей раз улучшения бытовых условий (увеличение размера жилой площади) в связи с подготовкой курса численных методов. В противном случае Бут грозился уйти из института.

После разговора со мной Георгий Львович подписал оба приказа. Так в 1963 году я стал членом кафедры, на которой проработал 28 лет.

В течение этих лет я читал курсы «Программирование», «Численные методы прогноза» и «Динамическая метеорология», руководил бесчисленным количеством дипломных проектов и множеством диссертационных работ.

Большой объём теоретических дисциплин определил новое название кафедры – «Кафедра теоретической метеорологии и метеорологических прогнозов».

Однако вернёмся к диссертации. Через три года после защиты меня вызвали на заседание экспертной комиссии ВАКа. Я изложил свою диссертацию, однако комиссия не приняла никакого решения, так как голоса за и против присуждения мне степени

кандидата наук разделились поровну. Как сказал председатель комиссии, предстоит переголосование, я могу быть довольным только тем, что за меня голосовал директор Вычислительного Центра, академик, крупнейший специалист по геофизической гидродинамике¹.

Слабое утешение.

Я вернулся в Одессу. Переголосование состоялось лишь через год с результатом, о котором я уже писал.

Но в течение этого периода я подготовил вторую диссертацию, защитил её и получил степень кандидата физико-математических наук, а вскоре и звание доцента.

В этот период времени я активно сотрудничал с учёными Института биологии южных морей. Результатом этого сотрудничества явилась монография «Динамика вод северо-западной части Черного моря». В ней произведен расчёт течений с помощью модели интегральной циркуляции характеристик турбулентности на основе простейшего уравнения баланса турбулентной кинетической энергии совместно с гипотезой Кармана–Лайхтмана для характерного размера вихрей в морской среде. В дальнейшем приведенные в монографии данные о морских течениях и турбулентности были существенно уточнены путём применения модели океанического пограничного слоя. Вскоре после опубликования книги я получил письмо от научного сотрудника академического Института этнологии и антропологии. Автор письма сообщал мне, что им использовано приведенное в книге распределение течений при исследовании путей переселения античных греков на территорию Северного Причерноморья.

Теперь о научных исследованиях, выполненных с участием дипломников, аспирантов и сотрудников кафедры теоретической метеорологии и метеорологических прогнозов. Я также успешно сотрудничал с учёными различных союзных научно-исследовательских институтов. Многие из них впоследствии стали моими друзьями.

Основным направлением моих научно-исследовательских работ явилось усовершенствование теории атмосферного пограничного слоя (АПС) и моделирование физических процессов в нижней части атмосферы.

Усовершенствование теории пограничного слоя потребовало в первую очередь отказ от полуэмпирических подходов, используемых для описания физических механизмов формирования временной и пространственной структуры распределения метеорологических и гидрофизических величин в пограничных слоях атмосферы и океана. Естественно первым шагом этого направления было создание стационарной одномерной модели атмосферного и океанического бароклинных пограничных слоёв на базе системы уравнений гидродинамики.

Введение уравнений баланса турбулентной кинетической энергии и скорости диссипации наряду с соотношением Колмогорова-Прандтля позволило сформулировать замкнутую систему уравнений гидротермодинамики и турбулентного замыкания. Для численного решения этой системы необходимо было найти условия вычислительной устойчивости. Совместно с преподавателем кафедры высшей математики² был получен

¹ Г.И.Марчук (Ред.)

² И.И.Марменштейн (Ред.)

количественный критерий устойчивости и выбран конечно-разностный аналог системы используемых дифференциальных уравнений, удовлетворяющий полученному критерию. Этот критерий оказался полезным также в задаче загрязнения воздушного водного бассейнов, в которой решается уравнение турбулентной диффузии.

Сформулированный вычислительный алгоритм и разработанная вычислительная программа для ЭВМ позволили рассчитать вертикальные профили составляющих вектора скорости ветра и параметров турбулентности в нижнем слое атмосферы в рамках одномерной модели. Задача решена при заданном вертикальном распределении горизонтального градиента давления и температуры. Вблизи подстилающей поверхности в слое шероховатости скорость потока равнялась нулю. На верхней границе АПС скорость потока принимает значение скорости ветра в свободной атмосферы (без турбулентного обмена), а параметры турбулентности становились заданными малыми значениями, что соответствовало условию вырождения турбулентности.

Для выявления закономерностей пространственно-временного распределения параметров пограничного слоя и исследования их взаимосвязи с полями метеорологических величин были проведены расчёты по данным архива Первого глобального эксперимента Программы исследований глобальных атмосферных процессов (ПГЭП) и метеорологической башни Института Экспериментальной метеорологии высотой 300м. Полученные по данным моделирования структуры АПС закономерности оказались согласованными с экспериментальными данными ПГЭП и метеорологической мачты.

Была разработана модель оценки влияния городской застройки на интенсивность турбулентности.

Новый метод учета вертикального турбулентного обмена при моделировании крупномасштабных атмосферных процессов и методика расчёта вертикальных движений были включены в прогностическую систему Гидрометеорологического центра. Разработанные подходы существенно уточняли вклад турбулентного перемешивания в динамику крупномасштабных атмосферных движений.

В соответствии с «Совместной программой мониторинга и оценки переноса загрязнений на большие расстояния в Европе», разработанная модель одномерного АПС была включена в число методик, рекомендованных Европейской комиссией для реализации экологического мониторинга и трансграничного переноса загрязняющих веществ.

Наряду с количественной оценкой параметров вертикальной турбулентности был произведен учёт подсеточных эффектов в задаче моделирования атмосферных процессов с масштабами, превышающими горизонтальный шаг конечно-разностной сетки (крупномасштабные движения). Для этой цели использовалась методика параметризации горизонтального коэффициента горизонтальной турбулентности. Последний рассчитывался по метеорологическим величинам в узлах и шага регулярной сетки.

Получены наиболее общие выражения, описывающие макротурбулентный обмен в уравнениях движения, вихря скорости, дивергенции. Рассчитан энергетический коэффициент макротурбулентности, определённый по скорости обмена энергией между

осреднёнными и пульсационными атмосферными движениями, исследовано явление отрицательной вязкости.

Перечисленные выше результаты были обобщены в монографии «Моделирование пограничного слоя и макротурбулентного обмена»,

Эта монография составила основу моей докторской диссертации.

В 1991 году мне присвоили степень доктора физико-математических наук и звание профессора.

***Одесский гидрометеорологический институт,
кафедра геофизической гидродинамики и теории климата (1993-1999)***

В 1993 году ректор института предложил мне занять должность заведующего кафедрой общей и прикладной климатологии. Я попросил ввести на кафедре весьма популярный за границей курс геофизической гидродинамики и переименовать кафедру. Я предложил в качестве названия «Кафедра геофизической гидродинамики и теории климата». Оба мои предложения были приняты ректором, и я возглавил кафедру.

С моим приходом одной из профилирующих дисциплин кафедры стал подготовленный мною и опубликованный курс геофизической гидродинамики.

В учебнике изложены основные закономерности динамики бароклинных стратифицированных природных течений на вращающейся Земле. Монография предназначалась для бакалавров, магистров и аспирантов гидрометеорологического профиля, а также специалистов в области прикладной геофизической гидродинамики.

Мой интерес к геофизической гидродинамике повлиял и на мою научную деятельность, основной темой которой стало развитие теории геофизического пограничного слоя (ГПС).

ГПС включает атмосферный и океанический пограничные слои, где закономерности динамики бароклинных стратифицированных воздушных и океанических потоков на вращающейся Земле проявляются в наиболее полной мере.

Уравнения гидродинамики ГПС полностью совпадали для движений в этих слоях, различия касались лишь граничных условия. Методика турбулентного замыкания включала усовершенствованные нестационарные уравнения переноса ТКЭ (турбулентной кинетической энергии) и ее диссипации.

Использование в задаче замыкания уравнений для ТКЭ и диссипации, полученных на единой методологической основе является несомненным достоинством указанного метода турбулентного замыкания.

Отличительная особенность созданной модели ГПС состоит и в том, что характеристики горизонтального и вертикального турбулентного обмена являются внутренними параметрами задачи и рассчитываются совместно с метеорологическими и гидрофизическими величинами по заданным условиям на внешних границах.

Предложенная модель была разработана для решения научных и прикладных метеорологических и гидрофизических задач и использования, а также в оперативной практике прогноза.

Разработанная модель АПС была использована в Системе прогноза Российского Гидрометцентра для расчёта полей метеорологических и турбулентных переменных в нижнем 2 км слое над подстилающей поверхностью. Область прогноза охватывала Северное полушарие. На данном этапе исследования решалась адаптационная задача, когда граничные условия на нижней и верхней границах АПС остаются постоянными значениями, и счёт ведётся до выхода на стационарный режим. Технология счёта предусматривала количественную оценку характеристик АПС по данным объективного анализа и суточного прогноза. Результаты этих расчётов были применены для оценки точности восстановления структуры АПС по прогностической метеорологической информации.

Результаты сопоставления показали, что ошибки восстановления скорости ветра и температуры внутри АПС близки к ошибкам прогноза этих величин на уровнях вблизи подстилающей поверхности и верхней границе АПС, используемых в качестве граничных величин в адаптационной задаче.

Стала очевидной необходимость перехода к решению нестационарной задачи количественной оценки метеорологических величин и параметров турбулентности.

В рассматриваемый период модель была также использована для описания циркуляционных процессов и загрязнения окружающей среды для территории Украины. Реализация численного алгоритма позволила существенно детализировать характеристики циркуляционного режима в Украине, при этом отмечалась хорошая согласованность рассчитанных и наблюденных векторов скорости ветра. Полученное пространственное распределение коэффициента турбулентности четко выделяло области интенсивного и слабого турбулентного перемешивания, что чрезвычайно важно для оценки степени загрязнения окружающей среды.

Эта оценка потребовала учёта трансграничного переноса и турбулентного обмена в проблеме охраны окружающей среды. Количественное описание трансграничного переноса и турбулентного обмена было получено на основе концепции физико-математического описания АПС с помощью модели ГПС с максимальным усвоением стандартной аэрометеорологической информации. Трёхмерная модель АПС реализовалась для двух вложенных пространственных сеток. Метод двух вложенных сеток позволил уточнить информацию о скорости переноса и турбулентных параметрах с учётом региональных особенностей Украины для реконструкции траекторий частиц примеси. На основе полученной информации строились траектории воздушных частиц, определяющих перенос загрязняющих веществ в Украину из сопредельных государств. Рассчитанные вертикальные восходящие движения позволили оценить перенос загрязняющих веществ в свободную атмосферу, где они переносятся на большие расстояния практически без рассеяния. Попадая в области нисходящих движений загрязняющие вещества вновь перемещаются в нижние слои атмосферы вблизи подстилающей поверхности, что приводит к загрязнению атмосферного воздуха, не связанному с выбросами местных источников. Ситуация усложняется, когда направление ветра меняется с высотой. Загрязнение воздуха может произойти в районах, где оно совершенно не ожидалось, как это случилось при Чернобыльской аварии.

Кафедра океанологии сделала мне подарок. Мне предложили руководство диссертационной работой аспирантки из Вьетнама. Образованная, умная, настойчивая и трудолюбивая аспирантка выполнила интересную работу по шельфовому пограничному слою, руководство которой доставило мне удовольствие.

Совместными усилиями нам удалось разработать новый подход к моделированию шельфовой зоны моря на основе модели геофизического пограничного слоя. В ходе выполнения диссертационной работы были разработаны несколько новых методик расчёта влияющих внешних параметров морской среды. Наиболее интересными из них явились оценка разделения турбулентного потока количества движения под воздействием ветра на формирование дрейфовых течений и волнового слоя, изменения уровня моря за счёт которого формировались геострофические течения.

Подготовленная вычислительная программа позволила получить количественные закономерности взаимосвязи морских течений, характеристик турбулентности и внешних параметров, в первую очередь скорости ветра.

В частности, была решена задача переноса нефтяных пятен при аварийных разливах нефти и от береговых источников. Приведу один из примеров использования разработанного метода.

Инспекция управления охраны морской среды обнаружила пятна нефти на поверхности Одесского залива и обвинила капитана зарубежного танкера в сбросе балластной жидкости, загрязнённой нефтью, в море. Однако это обвинение оказалось ошибочным. Произведенные нами расчёты методом обратных траекторий с учётом изменения во времени

Вектора ветра позволили определить, что источником загрязнения оказалась авария береговой котельной, за счёт которой и произошёл сброс нефти в море. Для Одесской инспекции это был первый прецедент использования теоретических расчётов для выявления источника загрязнения и его расследования.

Консультации при подготовке докторской диссертации, посвящённой описанию циркуляционных процессов и загрязнения окружающей среды для территории Украины¹ руководство диссертационной работой по шельфовому морскому пограничному слою явились последними этапами моей научной деятельности в ОГМИ.

К слову, обе диссертации были успешно защищены.

США, Рутгерский университет, факультет наук об окружающей среде (2000-2010)

В 2000 году мы переехали к детям в США.

Недалеко от нашего городка находился университет штата Нью-Джерси с факультетом наук об окружающей среде. Меня представили заведующему факультета, которому я на очень ломаном английском объяснил, кто я и почему я к нему обратился. Был назначен семинар, на котором я доложил основные направления своей научной деятельности. Через несколько месяцев я получил письмо от декана факультета, в котором сообщалось, что со мной заключается контракт, согласно которому мне предоставляется

¹ С.Н. Степаненко (Ред.)

должность приглашённого учёного со всеми обязанностями и правами профессора, но без оплаты.

Таким образом, я стал работать в университете штата Нью-Джерси на общественных началах. Мне назначили куратором русскоязычного профессора, с которым я мог обсуждать все интересующие меня вопросы. Первый из них, что полезного я могу выполнить для факультета. Оказалось, что на факультете широко используется программа моделирования региональных атмосферных процессов с блоком описания пограничного слоя и выполняется диссертационная работа по загрязнению атмосферы выбросами автомобилей.

Ознакомление с блоком АПС показало, что у меня есть над чем поработать. Применяемая в этом блоке схема турбулентного замыкания требовала существенного уточнения. Получаемые коэффициенты турбулентности получались нереально завышенными. Предложенная мною коррекция позволила получать реальные значения, а мой рейтинг существенно подрос. Полезной оказалась моя помощь и в подготовке диссертационной работы. Мой очередной контракт заканчивается в феврале 2011 года

Теперь о науке. В диссертационной работе необходимо было решить задачу расчёта концентрации загрязняющих газов от выбросов фитомобилей в атмосферу. Для этой цели следовало использовать уравнение турбулентной диффузии. Однако в решаемой задаче необходимо было учесть химическое взаимодействие загрязняющих веществ. Совместно с куратором эта проблема была решена. Уравнение турбулентной диффузии для осреднённых концентраций было дополнено вторыми статистическими моментами (ковариациями) пульсаций концентраций взаимодействующих примесей. Одновременно были выписаны уравнения переноса этих ковариаций с параметризацией в рамках К-теории. Коэффициенты турбулентности определялись по методике турбулентного замыкания с помощью уравнений баланса ТКЭ и диссипации. Это был новый подход к описанию переноса и диффузии реагирующих примесей и уточнённая оценка в задачах атмосферной химии воздействия турбулентного перемешивания.

Основной научной деятельностью в университете оставалось дальнейшее уточнение модели АПС.

Совместно с научными сотрудниками Российского Гидрометцентра удалось разработать модель атмосферного пограничного слоя высокого уровня замыкания, которая позволила восстанавливать структуру АПС в рамках Прогностической системы Российского Гидрометцентра с учётом основных физических механизмов и практически без ограничений для реальных метеорологических условий и рельефа.

Я постараюсь вкратце воспроизвести полученные результаты.

Прежде всего, уточнения касались одномерной модели АПС.

Детальный анализ предшествующих результатов показал необходимость, в первую очередь, уточнить описание стратификации в нижнем 100-метровом слое. Это уточнение оказалось наиболее важным для условий конвективного АПС. Была разработана новая методика расчёта стратификации в нижнем слое АПС по данным оперативного объективного анализа.

Несколько публикаций были посвящены улучшению схемы параметризации турбулентности в численном прогнозе крупномасштабных процессов и восстановлению приземной температуры и ветра на горных метеостанциях. Применённый метод последовательных приближений значительно улучшал описание вертикального распределения метеорологических величин и параметров турбулентности в пограничном слое.

Следующим шагом усовершенствования явился переход к нестационарной модели АПС для отработки методов интегрирования по времени. Для этой цели я начал с явной схемы совместно с методом последовательных приближений. Удалось увеличить время счёта, но, к сожалению, пришлось вводить ограничения на величины членов в уравнениях замыкания. Я принял решение не пытаться доводить одномерную модель, а заняться трёхмерной моделью. Не буду повторять все этапы этой тяжёлой работы, скажу лишь, что мне удалось записать будущие значения параметров турбулентности таким образом, что все члены в формулах были положительными, что автоматически давало положительные значения параметров турбулентности. Метод последовательных приближений обеспечил неявную схему интегрирования по времени вычислительную устойчивость. Интегрирование осуществлялось на срок 48 часов при реальном рельефе без каких-либо ограничений. Это был настоящий успех. Уверен, что срок прогноза можно будет удлинить.

Теперь предстоит решить не менее сложную задачу: оценить оправдываемость прогноза метеорологических величин и связанных с ними явлений погоды. Работа продолжается. Пожелайте успеха.

На этом воспоминания обрываются.