

Глава 6. Исследования тропических циклонов и тайфунов

Краткие сведения о структуре подразделения

Исследования тропических циклонов осуществлялись со дня образования института в рамках отдела синоптических исследований, отделов краткосрочных и долгосрочных прогнозов погоды. Широкий и целенаправленный характер исследования тропических циклонов получили после создания в 1980 году отдела по изучению тропических циклонов с рядом специализированных лабораторий, включающих моделирование тайфунов и подключения к этому процессу морских экспедиционных исследований на новых, хорошо оснащенных НИС неограниченного района плавания. Особенно широко исследования тропических циклонов были развернуты на базе упомянутых подразделений после возложения в 1979 г. на институт функций научно-исследовательского центра в системе Росгидромета по прогнозу тайфунов.

Основные направления в области исследования тропических циклонов

Основные функции, которые осуществлял институт по названной проблеме, следующие:

- научно-исследовательская работа по тайфунной тематике;
- проведение натурных экспериментов по изучению тайфунов;
- прогноз тайфунов на 1–3 суток для дальневосточных УГМС;
- международное сотрудничество по тропической метеорологии;
- разработка предложений по улучшению существующей службы наблюдений за тайфунами и оповещениями о них.

Научно-исследовательская деятельность. Научно-исследовательская деятельность по тайфунной тематике направлена на изучение и разработку методов прогноза зарождения, интенсивности и перемещения тропических циклонов как на основе данных наблюдений сети Всемирной метеорологической организации, так и с привлечением информации с научно-исследовательских судов, метеорологических лоаторов и искусственных спутников Земли.

Проведение натурных экспериментов по изучению тайфунов. Второе направление, тесно связанное с научной деятельностью — это проведение натурных экспериментов по изучению тайфунов. Они осуществлялись как в морских экспедициях, так и на лабораторных установках.



Коллектив отдела изучения тропических циклонов и тайфунов: А. В. Ремиз, О. П. Ржавина (нижний ряд), Л. И. Евдокимова, В. П. Тунеголовцев, М. Б. Мусеев, Л. В. Павлюк, Г. Г. Баранов. 2000 г.

Начиная с 1970 г. судами погоды ДВНИГМИ осуществлены широкие исследования условий зарождения, трансформации и вертикального строения тайфунов, зарождающихся в северо-западной части Тихого океана. В точке погоды, расположенной восточнее Филиппин, с координатами 15° с.ш., 135° в.д. велся широкий комплекс гидрометеорологических наблюдений, исследовалась пространственно-временная изменчивость гидрометеорологических элементов, пассатная циркуляция, взаимодействие атмосферных процессов тропической зоны и умеренных широт северного полушария. В период активной тайфунной деятельности и активизации внутритропической зоны конвергенции (ВЗК) суда удалялись от точки погоды, входили в ВЗК, тропические депрессии и тайфуны и проводили там необходимые измерения. В связи с тем, что соприкосновение с тайфунами связано с опасностью, суда с соблюдением всех мер предосторожности входили в зону ветра тайфуна со стороны его безопасного сектора примерно до 20–30 метровой изотахи, находясь на достаточном удалении от “глаза” тайфуна (порядка 60–100 миль, а иногда и больше).

Комплексное изучение тайфунов на судах института осуществлялось в экспедициях “КИСЗ-80”, “Тайфун-81-Прогноз”, “КЭТИ-82”, в первой морской российско-вьетнамской экспедиции (1983 г.), в экспедиции “Разрезы-84”, в 1985–1989 гг. — во II–VI российско-вьетнамских экспедициях и в экспедиции “Тайфун-89”. Кроме того, институт в качестве равноправного участника осуществлял исследования в экспедициях “Тайфун-75”, “Тайфун-78”, “Тайфун-81” и “Тайфун-90”, проводимые на судах ДВНИГМИ под руководством НПО “Тайфун”. Наконец, в 1992–1994 гг. изучение тайфунов осуществлялось в совместных экспедициях, проводимых ДВНИГМИ и Морским гидрометеоцентром СРВ на шельфе Вьетнама.

Основной целью натурных экспериментов, проводимых ДВНИГМИ до 1986 г., было исследование условий формирования и развития тропических циклонов на основе использования данных наблюдений стандартных судовых измерительных комплексов (аэрологического, гидрологического и метеорологического).

Экспериментальные исследования с 1986 г. по 1990 г. имели направленность на проверку построенных моделей структуры и эволюции тропических циклонов на ранней стадии развития (авторы — Ю. В. Казанцев и В. П. Тунеголовец.).

В 1986 г. впервые в мировой практике с борта НИС “Академик Королёв” был проведен эксперимент по применению судового метеорологического локатора, работающего в доплеровском режиме, для исследования тропических циклонов.

Оперативное прогнозирование тайфунов. Выполняя функции научно-исследовательского центра по прогнозу тайфунов на Дальнем Востоке в институте с июня 1982 г. по 1990 г. велись работы по обеспечению всех дальневосточных УГМС прогностическими траекториями тайфунов на 1–3 суток, а с 1986 г. прогнозами зарождения и интенсивности тайфунов (консультационные прогнозы).

В качестве основных использовались синоптический способ перемещения, синоптико-статистический прогноз зарождения и статистический прогноз интенсивности тропического циклона (ТЦ). Средние за сезон тайфунов ошибки прогноза перемещения на сутки составили 180–200 км, на двое — 370–390 км, на трое — 590–610 км. Оправдываемость методов прогно-

за зарождения изменялась в пределах 80–85%, а интенсивности — 70–75%.

Прогнозы составлялись раз в сутки на 18 часов Гринвичского времени. Анализ развития синоптических процессов проводился по данным Японского метеорологического агентства за все основные синоптические сроки.

Международное сотрудничество. В рамках международного сотрудничества в области тропической метеорологии институт проводил совместные исследования с вьетнамскими и корейскими специалистами. Предполагалось расширение сотрудничества за счет организации совместных работ с китайскими и индийскими учеными.

В области российско-вьетнамского сотрудничества основная деятельность в 1981–1985 гг. была ориентирована на изучение условий формирования тропических циклонов и разработку методов их прогноза с заблаговременностью до 3-х суток. Эти исследования проводились на базе аэросиноптических данных, а также данных наблюдений шести комплексных совместных морских экспедиций в центральной части Южно-Китайского моря по исследованию условий зарождения ТЦ и двух экспедиций в центральной и шельфовой зоне СРВ. Собраны уникальные данные наблюдений, в том числе в десяти тропических циклонах (в основном, на периферии), построены гидрометеорологические архивы на технических носителях, достаточные для изучения климатологии тайфунов Южно-Китайского моря и построения первых прогностических схем. По материалам экспедиций получены новые данные о термодинамическом состоянии атмосферы и гидросферы, уточнены новые модели эволюции ТЦ на ранней стадии развития.

В рамках двухстороннего советско-вьетнамского сотрудничества ДВНИГМИ созданы для ТЦ на ранней стадии развития:

- статистическая параметрическая модель структуры;
- физико-статистическая прогностическая модель и созданный на ее базе метод прогноза интенсивности и перемещения ТЦ;
- эмпирическая прогностическая схема прогноза эволюции ТЦ;
- синоптико-статистический метод прогноза зарождения тайфунов, в качестве предикторов в котором выбраны динамические параметры, а также морфологические характеристики спутниковых снимков ТЦ;
- методика параметрического дискриминантного анализа для прогноза зарождения ТЦ с использованием в качестве предикторов качественных признаков.

Среди задач сотрудников ДВНИГМИ, работавших в ССВЦ в течение 1986–1990 гг., была отработка применимости использования методов объективного анализа для построения полей ветра в тропической зоне, причем предусматривалось в качестве дополнительной гидрометеорологической информации использовать данные об “облачном” ветре, получаемые с геостационарных ИСЗ. Параллельно, в ДВНИГМИ по историческим архивам разрабатывалась методология привлечения данных о профилях влажности и температуры, получаемых с помощью аппаратурных комплексов TOVS NOAA, и “облачном” ветре ИСЗ GMS. Создавались эти архивы на основании ежемесячников Японского спутникового центра. Оработка новых инструментальных методов осуществлялась по договорным НИР между ДВНИГМИ и другими НИУ России в периоды морских

экспедиций как в совместных с вьетнамскими специалистами, так и в других экспедициях института.

В области российско-кореянского сотрудничества основная деятельность была направлена на усовершенствование методов прогноза интенсивности и перемещения тропических циклонов, выходящих на Корейский полуостров и Приморский край.

В совместных разработках предполагалось основной упор сделать также на данные наблюдений МРЛ и ИСЗ. Этому способствовало то, что ЦИП КНДР оснащен современной станцией приема спутниковой информации, позволяющей вести прием в режиме HRPT и HRFAX, то есть в режиме приема информации высокого разрешения с полярноорбитальных и геостационарных спутников Земли.

Разработка предложений по улучшению существующей службы наблюдений за тайфунами. В плане разработки предложений по улучшению существующей службы наблюдений за тайфунами и во исполнение постановления Госкомгидромета, направленного на улучшение производственной деятельности и организации работ по вопросам, связанным с чрезвычайными ситуациями, в 1984 г. в ДВНИГМИ был разработан проект ТЭО на создание единой автоматизированной службы наблюдений за перемещением тропических циклонов и предупреждениями о них (ЕСТЦ).

По проекту ТЭО, ЕСТЦ являлась бы одной из информационных подсистем ГСНП и могла иметь функциональные элементы, общие с другими подсистемами ГСНП (в частности, службой цунами). ЕСТЦ должна входить в оперативную штормовую систему Госгидромета во главе с центром (ГМЦ СССР) предупреждения ОЯ и СГЯ (штормовым центром), а также в международную систему предупреждения о тропических циклонах Азии и Тихого океана (Комитет по тайфунам ЭСКАТО/ВМО) на правах одной из национальных служб.

Данная система наблюдения за тайфунами могла бы быть использована также для предупреждения о выходе южных циклонов и стационарных атмосферных фронтов, обуславливающих выпадение сильных и очень сильных осадков на обслуживаемой территории. В свою очередь, сведения об осадках могли быть использованы для прогноза наводнений.

В 1993 г. ДВНИГМИ рассмотрел и принял на своем Ученом Совете программу научных исследований "Комплексное изучение тайфунной деятельности и последствий их воздействия на дальневосточный регион Российской Федерации". Основная цель программы - осуществление научно-технических мероприятий по созданию в обозримом будущем единой автоматизированной службы наблюдений за перемещением тропических циклонов и предупреждениями о них как составной части единой службы предупреждения о стихийных гидрометеорологических явлениях. Концепция Программы - автоматизация процессов сбора и обработки информации с каналов связи ГСТ, а также информации с дистанционных средств измерений и разработка на этой базе данных новых методов прогноза и методов автоматизированного доведения предупреждений до потребителя.

В 1995 г. в рамках Федеральной программы "Защита Приморского края от наводнений" разработана программа создания автоматизированной системы наблюдения, прогноза и опо-

вещения при наводнениях в Приморском крае. В соответствии с этой программой система создавалась на базе Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Дальневосточного регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института путем развития, переоснащения и усовершенствования организации деятельности их служб и структурных подразделений. Эта система является частью автоматизированной информационной системы предупреждений и действий в чрезвычайных ситуациях в Приморском крае. В рамках системы значительная роль принадлежит тайфунам.

Система предусматривает включение автоматизированных технологий диагноза и прогнозов следующих характеристик:

- траектории и интенсивность тайфунов и активных циклонов;
- интенсивность фронтальных облачных систем (в том числе на основе радиолокационного слежения и спутникового зондирования атмосферы);
- интенсивных осадков с заблаговременностью до 3–5 суток (в том числе на основе радиолокационного слежения и спутникового зондирования атмосферы).

Планировалось переоборудование метеостанций, создание и оборудование 3–4 пунктов радиолокационного слежения в доплеровском режиме и одного пункта приема данных спутникового зондирования в режимах HRPT (полярноорбитальные спутники) и LR-FAX (геостационарный спутник GMS-5, в т.ч. и данные V-VISSR комплекса), размещение 200 автоматизированных осадкомерных пунктов, восстановление и переоборудование гидрологических постов, строительство и оборудование новых гидрологических постов на территории Приморского края.

Пункты радиолокационного слежения и спутникового зондирования должны обеспечивать:

- учащенные наблюдения и передачу данных в центр обработки об осадках и радиальных составляющих поля ветра на перекрывающихся участках всей территории Приморского края и всей западной части Японского моря;
- прием информации от ИСЗ, оборудованных, кроме VISSR-комплексами, СВЧ-радиометрами и СВЧ-локаторами бокового обзора, и восстановление полей



Участники советско-вьетнамской экспедиции на НИСП "Прилив", 1980-е гг.

общего влагосодержания атмосферы, капельной влаги облаков с учетом их пространственной структуры, определение высоты верхней границы облачности, восстановление полей "облачного ветра" и приводного ветра по территории к северу от 30° с.ш. между 120 и 150° в.д., совместный анализ полей жидкой и парообразной влаги в атмосфере.

Климатология тропических циклонов северо-западной части Тихого океана

Исследования в области климатологии тропических циклонов. Исследование в области тропической метеорологии в ДВНИГМИ развивалось в нескольких направлениях и имело давнюю историю. Первые работы по тайфунной тематике были посвящены изучению климатологии тропических циклонов и созданию атласов и каталогов.

Так В. Л. Архангельским [1] при исследовании путей и скоростей перемещения циклонов и антициклонов на Дальнем Востоке за период 1945–1954 гг. в отдельную группу отнесены пути перемещения ТЦ, вышедших в умеренные широты. Данная группа имела четыре разновидности.

Работа А. П. Барабашкиной и Е. А. Лесковой [2] посвящена исследованию тайфунов, вышедших на Японское море и Приморский край за период с 1919 по 1954 год. В зависимости от района прохождения тайфунов авторы выделили три типа траекторий.

К первому типу отнесены тайфуны, выходящие с Тихого океана через Восточно-Китайское море на восточные районы Китая, затем поворачивающие последовательно к северу, северо-востоку, проходя через Приморский край.

Ко второму типу отнесены тайфуны, которые проходят через Восточно-Китайское и Желтое моря и далее на юг Приморского края или север Японского моря.

К третьему типу отнесены тайфуны, проходящие с юга через Японские острова на Японское море и далее к северу или северо-востоку.

Авторами [2] приведена синоптическая характеристика тайфунов для каждого типа. Ими представлены первые элементы синоптического моделирования, в частности, установлено, что при прогнозировании тай-

фунов можно успешно применять принцип аналогичности — метод подбора аналогичных синоптических процессов в начальный момент, за которым должны следовать также аналогичные синоптические ситуации в ближайшие 1–2 суток.

В семидесятые годы научные исследования в области климатологии тропических циклонов были направлены на проведение типизации их траекторий по характеру воздействия на тот или иной район [3], климатической характеристике повторяемости и точек поворота тайфунов [4, 5, 6].

Так, Е. В. Николаевой [3] по характеру воздействия 100 тайфунов на погоду Советского Дальнего Востока, Японского моря, Японии и Китая проведена их типизация. Для каждого типа установлены районы зарождения и поворота траектории на другую ветвь. Изучена повторяемость значительных осадков, обусловленных тайфунами первого типа, и их вклад в формирование месячного количества осадков в Приморском крае.

Климатическая характеристика повторяемости и точек поворота тайфунов дана В. Ф. Ворониной и Н. И. Павловым [4]. Рассматривалось распределение тайфунов по широте и долготе, исследована зависимость скорости перемещения тайфунов в районе точки поворота от сезона и географического положения. Ими получены асинхронные связи между положением субарктической фронтальной зоны в северо-западной части Тихого океана и сезонной активностью основных осей повторяемости тайфунов.

А. А. Календовым [5] проведен анализ синоптических условий по картам барической топографии за 36 ч до поворота тайфунов на северо-восток с июня по август (1960–1964 гг.). Выделены три типа структуры поля H_{500} , которые определяют изменение траектории тайфуна. Сделана попытка прогнозирования местоположения тайфуна при смене траектории, исходя из адвекции холода, связанной с движением тайфуна.

Е. В. Веретельник [6] проанализированы траектории тайфунов за десятилетний период (1966–1975 гг.). Выделены четыре типа траекторий тайфунов и рассмотрена их повторяемость от месяца к месяцу. Дан анализ скорости перемещения тайфунов в зависимости от широты места и времени года в низких широтах южнее 25° с.ш.

Н. И. Павловым [7] проведено исследование совместного влияния солнечной активности и долгопериодных приливовобразующих сил Луны на зарождение тайфунов. Установлен характер корреляционных связей между солнечной активностью и повторяемостью тайфунов. Вторичные признаки (коэффициенты разложения временных последовательностей средних годовых чисел Вольфа по естественным ортогональным составляющим) лучше коррелируются с повторяемостью тайфунов, чем непосредственно числа Вольфа.

Изучению зависимости формирования очагов зарождения тайфунов и повторяемости их выхода в умеренные широты в теплое полугодие от макромасштабных процессов в атмосфере в предшествующие периоды холодного полугодия посвящена работа В. Ф. Ворониной и Н. И. Кукусовой [8]. Обнаружены асинхронные связи между повторяемостью и средним положением очагов зарождения тайфунов в теплое полугодие и формами атмосферной циркуляции в предшествующие периоды холодного полугодия. Выявлена зависимость среднего положения очагов



Ведущие специалисты института: Л. П. Якунин, Н. И. Павлов, Г. В. Свинухов, А. А. Календов на демонстрации. (Вторая половина 60-х гг.)

зарождения тайфунов от положения оси наибольшей повторяемости антициклонов над северо-западной частью Тихого океана в холодное полугодие.

Заслуженный интерес представляют работы Е. В. Николаевой, посвященные изучению особенностей синоптических процессов в тропосфере и нижней стратосфере при выходе тайфунов на Дальний Восток [9], а также разработке способа прогноза примерных дат выхода тайфунов на Приморский край [10]. Так в [9] на основе анализа закономерности развития вероятностного процесса ею выявлены информативные макропроцессы за 25, 15 и 5 дней до выхода тайфунов на Приморский край. Повторяемость вероятностных процессов имеет обеспеченность 76–79%, что значительно превышает климатологическую повторяемость макропроцессов. Изучение макроциркуляционных факторов (ложбин и гребней, полярной депрессии, ВФЗ) в тропосфере и нижней стратосфере, при которых осуществляется выход тайфунов на Приморский край, Японию и Китай, проведено в работе [10]. Показано, что развитие тайфуна определяется не только локальными факторами, но и макроциркуляционными условиями второго е.с. района.

В [11] Н. И. Павловым рассматривается климатологическая локализация тайфунов различной интенсивности (градации через 20 гПа) для всех месяцев года в северо-западной части Тихого океана за период 1957–1978 гг. Приводятся климатологические данные о супертайфунах (давление в центре 900 гПа и менее) за период 1951–1979 гг.

Подготовленные Н. И. Павловым карты локализации зон с различной интенсивностью углубления и заполнения тайфунов для всех месяцев за период 1958–1980 гг. представлены в работе [12]. Автором дается анализ пространственно-временной изменчивости интенсивности эволюции тайфунов.

Влияние тайфунов на выпадение осадков в Приморском крае изучено В. С. Кузиным, Л. И. Евдокимовой и Н. И. Павловым [13]. Авторами рассматривается повторяемость типов траекторий тайфунов, оказывающих влияние на погоду Приморского края. При условии выхода тайфуна по той или иной траектории оценивается вероятность появления осадков определенной интенсивности в различных районах края. Вычислено суммарное количество осадков, связанных с тайфунами, среднее количество осадков, выпадающих за время одного тайфуна, вероятность тайфунов, дающих различную интенсивность осадков и другие характеристики.

В работе [14] В. П. Тунеголовцем и В. Г. Федореем рассмотрены параметры тропических циклонов, выходящих на Дальний Восток, а также частота интенсивных осадков в Приморском крае.

Классификация ведущего потока над северо-западной частью Тихого океана за 1970–1980 гг. на уровнях H_{500} и H_{300} для тропических циклонов, перемещающихся по прямым и параболическим траекториям, проведена В. И. Верховатовым [15]. Получено по три типа ведущего потока для прямых и параболических траекторий. Приведена повторяемость перемещений тайфунов для каждого типа.

Создание атласов и каталогов по тропическим циклонам. Первый атлас траекторий тайфунов за 1953–1968 годы подготовлен в ПУГМС под руководством В. Ф. Ворониной [16]. В нем содержатся сборные карты траекторий по месяцам и годам.

Опубликованный в 1974 г. Г. И. Анжиной и Н. И. Павловым каталог тайфунов за 1953–1972 гг. [17], содер-



Представление Л. И. Евдокимовой электронного каталога типовых синоптических полей при выходе тропических циклонов на дальневосточный регион. 2001 г.

жит как табличные данные, так и сборные карты траекторий тайфунов по годам, а также карты траекторий тайфунов, выходящих или оказывающих влияние на Приморский край. В таблицах указаны порядковый номер, название тайфуна, координаты образования, координаты точки поворота, минимальное давление в центре ТЦ за время существования, тип траектории.

Л. И. Евдокимовой и Н. И. Павловым на основе японских ежемесячников Geophysical Review составлен каталог тайфунов за период 1958–1980 гг. [18, 19]. Он подготовлен в виде двух частей. В первой части, состоящей из 5 глав и 8 приложений в виде карт, приведены климатологические сведения о тайфунах за 1958–1980 гг. Рассматриваются районы зарождения тайфунов акватории Тихого океана, их повторяемость и продолжительность существования. Содержатся сведения о точках поворота тайфунов на обратную ветвь траектории. Рассматривается локализация тайфунов различной интенсивности и климатология супертайфунов. Отдельно анализируются тайфуны, оказывающие влияние на погоду Советского Дальнего Востока, дальневосточных морей и прилегающих районов Тихого океана. Во второй части каталога содержится табличный материал о ежедневных данных для каждого тропического циклона: местоположение, направление и скорость перемещения; даты и координаты зарождения; даты и координаты минимального давления в центре; даты и координаты точки поворота; даты и координаты заполнения тайфунов.

В каталог ураганов северо-восточной части Тихого океана, подготовленный Н. И. Лисогурским и А. З. Петричевым [20], включены сведения о тропических циклонах, наблюдавшихся в районе Тихого океана, ограниченного координатами $0-20^\circ$ с.ш. $120-150^\circ$ з.д. Составлен он на основе информации о тропических циклонах, снятой с ежедневных карт погоды тропической зоны земного шара ГМЦ СССР за период 1965–1980 гг., а также данных о параметрах этих циклонов, помещенных в журнале "Mariner Weather Log" за тот же период.

В 1986 году был издан Каталог верхнетропосферных ложбин (ВТЛ) на уровне 300 гПа за период 1972–1981 гг. (авторы: Н. И. Павлов, Е. Д. Пашкова, Т. И. Смирнова [21]). Каталог представлен в виде карт и таблиц. На картах нанесено среднее многолетнее положение осей наибольшей повторяемости ВТЛ по месяцам. В таблицах содержится число дней с ВТЛ за месяц по

пятиградусным квадратам в северо-западной части Тихого океана.

В 2000 г. В. С. Кузиным и Л. И. Евдокимовой [22] на базе данных о 226 тропических циклонах за период 1958–1998 гг., прямо или косвенно повлиявших на дальневосточный регион России, создан электронный каталог типовых синоптических полей, способствующих регенерации тропических циклонов. В каталоге дано описание типовых синоптических полей, способствующих регенерации тропических циклонов с учетом типовых траекторий, приведена графическая информация по типам ТЦ, представлены типовые траектории ТЦ по типам в виде карт-схем, помещены типовые атмосферные поля у земли и на уровне H_{500} с учетом типов траекторий ТЦ, приведены схемы активной и пассивной регенерации ТЦ в полярно-фронтальной циклон (ПФЦ), в табличном виде содержатся статистические характеристики о выходе ТЦ на ДВ регион и их регенерации в ПФЦ, а также даются рекомендации пользователю в виде текстовой информации.

Структуры тропического циклона, окружающей атмосферы и океана

Первые результаты исследования эволюции ТЦ в ДВНИГМИ опубликованы в 1959 г. в работе А. В. Шаропова [23]. По данным двух рейсов (22-ого и 25-ого) экспедиционного судна "Витязь" им выделено и описано 4 стадии развития тайфунов: стадия тропической депрессии, стадия тайфуна, стадия трансформации тайфуна в полярнофронтальной циклон и стадия трансформированного тайфуна. Автором получено, что депрессии, возникшие в районе Каролинских островов, обладали скоростью в 1.5–2.0 раза большей, чем возникшие у Филиппинских островов. Тайфуны, развившиеся из депрессий, возникших в районе Каролинских островов, имели значительно большую глубину. Большое внимание автором уделено вопросам трансформации тайфунов. Замечено, что депрессии, возникшие к востоку от Филиппинских островов, иногда претерпевали первичную трансформацию в полярнофронтальные волны. Если этот процесс происходил южнее 20° с.ш., то спустя примерно двое суток, как правило, наблюдалось развитие полярнофронтальных волн в тайфуны с последующей вторичной трансформацией в полярнофронтальные циклоны. Замечено, что через одни — двое суток после начала трансформации тайфуна следует ожидать поворота его к северо-востоку и резкого увеличения скорости смещения. При этом, чем больше западная составляющая скорости тайфунов до момента трансформации, тем больше угол поворота их траектории к северо-востоку после трансформации.

Значительно позже, в 2001 г., В. С. Кузиным и Л. И. Евдокимовой [24] построены типовые траектории тропических циклонов (ТЦ), регенерирующих на полярном фронте над дальневосточными регионами России. В работе использовались синоптические карты приземного анализа, карты геопотенциала H_{500} и спутниковые снимки облачности с геостационарных спутников земли за период с 1958 по 1998 гг. Выявлено 4 основных типа траекторий, каждый из которых делится на три подтипа. Проведена типизация синоптических ситуаций, способствующих регенерации ТЦ в ПФЦ над дальневосточным регионом России. Описаны два вида регенерации ТЦ в ПФЦ (активный и пассивный).

А. В. Шароповым и П. Ю. Пушистовым [25] для конкретных синоптических ситуаций по материалам меридионального разреза, выполненного четырьмя судами

ДВНИГМИ в апреле — мае 1974 г. в экваториально-тропической зоне Тихого океана, дан синоптический анализ и приведена сводка количественных характеристик (вихрь, дивергенция, вертикальная скорость, суммарное влагосодержание слоев атмосферы и т. д.). Выявлены условия превращения тропических депрессий в шторм, изучены приземная структура мезомасштабных возмущений и процесс воздухообмена между полушариями в экваториальной зоне.

В семидесятых — начале восьмидесятых годов все работы по тайфунной тематике велись под руководством Н. И. Павлова и были направлены на решение следующих задач:

- изучение гидрометеорологических условий, влияющих на траекторию и эволюцию ТЦ;
- разработку физико-статистического метода прогноза перемещения и эволюции ТЦ для северо-западной части Тихого океана на 1–3 суток, а также на 4–5 суток;
- создание физической модели возникновения ТЦ, усовершенствование методики их прогноза.

Широкое развитие в этот период получило численное моделирование формирования, развития и перемещения тайфунов с учетом их взаимодействия с общей циркуляцией атмосферы, что позволило найти более совершенные и универсальные методы прогноза перемещения и эволюции тайфунов на средние сроки (до 5–7 суток) с помощью ЭВМ.

Ряд работ Н. И. Павлова этого периода [26–28] были посвящены изучению связей характера траекторий тайфунов с индексами циркуляции атмосферы по Е. Н. Блиновой, А. Л. Кацу и типами циркуляции атмосферы по А. А. Гирсу и Г. Я. Вангенгейму [26, 27], анализу синоптических условий перемещения ТЦ по "неправильным" траекториям [28]. Связь характера траекторий тайфунов с индексами циркуляции атмосферы по Е. Н. Блиновой, А. Л. Кацу и типами циркуляции атмосферы по А. А. Гирсу рассмотрена в работе Н. И. Павлова и Г. А. Макаевой [26]. Наиболее высокие корреляционные связи выявлены между отдельными типами траекторий тайфунов и индексами циркуляции атмосферы 3 , M_2 , (по А. А. Гирсу) и I^c_m , I^o_z (по А. Л. Кацу). В работе [27] Н. И. Павловым выявлены синхронные и асинхронные связи повторяемости траекторий тайфунов со среднесезонными значениями индексов циркуляции атмосферы Е. Н. Блиновой, А. Л. Каца, числом дней с типами атмосферной циркуляции по А. А. Гирсу и Г. Я. Вангенгейму; найдены корреляционные зависимости между тенденциями межгодовых изменений средней широты субтропического пояса высокого давления в северной части Тихого океана, а также среднего месячного давления воздуха на 45° с.ш. и тенденцией повторяемости тайфунов, объединенных в две группы, и среднего минимального давления в центрах тайфунов. Получены связи между повторяемостью и интенсивностью тайфунов и географическим положением центров действия атмосферы. Синоптические условия перемещения тайфунов по "неправильным" и петлеобразным траекториям рассмотрены Н. И. Павловым в работе [28]. Автором приводятся климатические сведения о "неправильных" и петлеобразных траекториях тайфунов. Выказана гипотеза о связи траектории перемещения тайфунов с траекторией перемещения гиперболической точки высотного деформационного барического поля.

По материалам аэросиноптических наблюдений, полученным в 1, 4, 5, 6, и 8 рейсах НИС "Академик Королев" за период с 1968 по 1972 гг., Н. И. Павловым и В. Я. Ткаченко [29] дан анализ особенностей атмо-

сферной циркуляции в экваториальных и тропических широтах в зоне от Австралии до берегов Южной Америки. Исследована вертикальная структура и строение южно-тихоокеанского антициклона, а также приводятся данные о стратосферных антициклонах в тропической зоне.

Изучение циркуляции атмосферы в тропической зоне северо-западной части Тихого океана, а также структуры и энергетики ТЦ в экспедициях “Тайфун-75” и “Тайфун-78” производилось с помощью подвижных и стационарных аэрологических полигонов, образованных тремя, четырьмя и пятью исследовательскими судами. Полигон чаще имел форму ромба с диагоналями, ориентированными вдоль меридиана и параллели и равными 3° широты (180 миль). При наличии трех судов полигон представлял собой равнобедренный треугольник с длиной основания 3° и расстоянием от вершины треугольника до его основания 1.5° . Радиозондирование атмосферы производилось четыре раза в сутки, а при подходе к полигону наиболее интенсивных тайфунов — восемь раз в сутки.

В период экспедиции “Тайфун-78” наряду с указанными выше задачами в научную программу входило также изучение условий зарождения тропических циклонов. Самостоятельной и важной задачей экспедиции являлись синоптические исследования, включающие анализ метеорологических полей, определяющих как возникновение, так и эволюцию тропических циклонов, а также особенности их структуры.

По данным о вращении ветра с высотой и вертикальном распределении аномалий температуры воздуха на периферии тайфунов в тропической зоне северо-западной части Тихого океана Н. И. Павловым обнаружена тесная зависимость процессов в тропосфере и нижней стратосфере [30]. Показано, что тропосферные процессы в тайфунах и на периферии оказывают влияние на поля ветра и температуру воздуха в нижней стратосфере. Чем интенсивнее тайфун, тем выше распространяется его влияние. Теплое ядро в тайфуне появляется раньше, чем произойдет его развитие. При одном и том же давлении в центрах тайфунов положительные аномалии температуры воздуха в развивающихся тропических циклонах будут больше, чем в заполняющихся.

По материалам наблюдений за тайфунами (1958–1978 гг.), а также данным экспедиции “Тайфун-78” Н. И. Павловым [31] исследуется влияние Филиппинских островов на эволюцию тайфунов. Выявлено, что чем мощнее тайфуны, тем интенсивнее процесс их заполнения при переваливании через горную систему Филиппинского архипелага и о. Тайвань. Механизмом, поддерживающим процесс углубления тайфуна над Южно-Китайским морем, является юго-западный экваториальный муссон.

Особенности циркуляции в западной части Тихого океана в период декабрь 1979 г. — январь 1980 г. рассматриваются Н. И. Павловым, В. В. Горчаковой и Л. И. Евдокимовой в работе [32]. Авторами дается анализ момента вращения, изучаются особенности линий тока в меридиональной плоскости, а также характер вертикальных движений и распределение дивергенции ветра в области ВЗК, субтропического струйного течения. Исследуется пространственная изменчивость горизонтальных потоков массы воздуха и водяного пара.

На основе анализа карт барической топографии поверхности 500 гПа за период 1975–1978 гг. Н. И. Павловым выявлена 5.5-месячная периодичность в колебаниях повторяемости длинных волн над северным полу-

шарием [33]. Обнаружена обратная связь между повторяемостью волн в днях в течение месяца с волновыми числами 4 и 5. Энтропия распределения волн внутри месяца с различными волновыми числами испытывает колебания с периодами 2–3 месяца. Получена формула для периода неустойчивых волн, который зависит от параметра Кориолиса и тангенса угла отклонения ветра от изогипсы.

В работе [34] Н. И. Павловым и Г. Н. Шипуновой дается анализ разложения внутrigодового хода индексов Блиновой по естественным ортогональным составляющим. В поле собственных векторов с индексом ≥ 2 на изобарических поверхностях 700, 500, 300 гПа хорошо прослеживаются волны с периодами 2, 3, 4, 5, 6 и в отдельных случаях 8 месяцев. В колебаниях временных функций наблюдаются волны с периодом 2–4 года.

Волновые колебания зональной циркуляции и общего влагосодержания в тропической зоне северо-западной части Тихого океана изучаются в [35] (Н. И. Павлов, Е. Д. Пашкова, Г. Н. Шипунова). Авторами выявлены волны с периодами: 1 год, 6 и 3 мес., 70, 37, 26, 20, 15–16, 13–14, 11–12, 6–7, 4–5 суток. Установлена связь волновых колебаний в тропической атмосфере с зарождением тайфунов.

В период комплексных экспедиций по тайфунной тематике К. И. Часовой и прикомандированными специалистами-синоптиками (С. П. Стефановской, В. П. Емельяновой, Л. И. Евдокимовой, В. С. Кузиным и др.) проводились аэросиноптические исследования атмосферы в зоне деятельности тайфунов [36–38 и др.].

Ряд работ посвящено исследованию квазидвухлетней цикличности атмосферы в колебаниях частоты зарождения тайфунов и изучению задерживающих слоев тропической зоны северо-западной части Тихого океана [39–41].

А. И. Гордиенко, Б. А. Слепцовым-Шевлевиным и В. С. Кузиным [39] рассмотрены различные гипотезы о причинах квазидвухлетних колебаний атмосферных процессов. Методом гармонического анализа месячных данных выявлены “сбои” двухлетнего цикла в колебаниях атмосферной циркуляции формы С и показана их связь с 11-летним солнечнообусловленным циклом. Обнаруживается связь временной изменчивости амплитуд квазидвухлетнего цикла в колебаниях некоторых атмосферных и океанических процессов с ходом индекса геомагнитной возмущенности. Высказываются предположения о возможном механизме влияния солнечной активности на атмосферу Земли.

Вклад квазидвухлетней цикличности в общую изменчивость некоторых гидрометеорологических характеристик А. И. Гордиенко и В. С. Кузиным оценивается в [40, 41]. Проведен сравнительный анализ аномалий квазидвухлетнего цикла в колебаниях гидрометеорологических элементов. Предлагается простой способ расчета аномалий путем фильтрации рядов наблюдений гидрометеорологических характеристик.

Е. В. Веретельник и В. В. Горчаковой [42] получены статистические данные о распределении некоторых характеристик задерживающих слоев (инверсий, изотермий) в нижней, верхней и средней тропосфере тропической зоны северо-западной части Тихого океана в период экспедиции “Тайфун-78” в зависимости от трех синоптических ситуаций. Проведено сравнение полученных результатов для Тихого океана с данными Атлантической экспедиции “ТРОПЭК-74”.

Основные характеристики задерживающих слоев тропосферы летом и осенью в умеренных широтах северо-западной части Тихого океана в зависимости от синоптических ситуаций приводятся в [43]. В. В. Горча-

ковой и В. М. Варниним обнаружена многослойность задерживающих слоев.

В. И. Верховатовым [44] рассмотрены районы возникновения туманов в северо-западной части Тихого океана за 1971–1981 гг., выявлены синоптические ситуации, при которых наблюдался туман. Показан ход метеорологических элементов до появления тумана, во время его и после исчезновения тумана. Определена повторяемость туманов и их продолжительность.

В работах [45–51] изложены результаты исследований турбулентных потоков тепла и затрат на испарение в зонах деятельности тайфунов.

Н. И. Павловым и А. Е. Акимовым [45] по данным наблюдений шести научно-исследовательских рейсов судов погоды получена расчетная формула и произведены расчеты турбулентных потоков тепла и влаги в зоне формирования и развития тайфунов. Максимальные значения турбулентных потоков тепла в тайфуне могут достигать $2000 \text{ кал/см}^2 \text{ сутки}$. Тайфуны являются активными “поставщиками” тепла и влаги в тропосферу. По материалам наблюдений НИС и НИСП ДВНИГМИ за период с 1965 по 1973 гг. В. И. Корниенко и В. Д. Боханом рассмотрена временная изменчивость турбулентных потоков тепла и влаги в северо-западной части Тихого океана по данным 20 многосуточных станций [46]. Получено, что изменчивость турбулентных потоков тепла и влаги, связанная с внутренней структурой рядов наблюдений, существенно больше летом, чем зимой и в переходные сезоны года. Максимальные значения междусуточной изменчивости турбулентных потоков тепла и влаги обусловлены прохождением атмосферных фронтов и циклонических образований. Амплитуда колебаний турбулентных потоков тепла и влаги в относительных единицах достигает двух порядков. Турбулентные потоки тепла, влаги и тепловой баланс в тропической зоне и умеренных широтах западной части Тихого океана по данным экспедиций “Тайфун-78” и “Тайфун-80” исследовались Н. И. Павловым, О. Д. Синяковой и С. П. Стефановской [47]. Ими показана зависимость турбулентных потоков и составляющих теплового баланса от синоптических ситуаций. Распределение потерь тепла и его составляющих по акватории Японского моря в холодное полугодие рассматривается в [48]. В. И. Верховатовым и А. П. Закаблукоским установлено, что максимум потерь тепла приходился на район слияния теплых Цусимского и Восточно-Корейского течений, а минимум — на холодное Приморское течение. Отмечен суточный ход затрат тепла на испарение и турбулентного потока с максимумом, наблюдавшимся в 13–14 ч и минимумом — в 01 и 19 ч. Е. В. Веретельник [49] по результатам экспедиции “Тайфун-81” исследуется турбулентная теплоотдача поверхности океана на примере тайфунов Гей и Кит на разных стадиях их развития. Приводится распределение турбулентных потоков тепла и влаги в зависимости от расстояния до центра тайфуна. С. П. Стефановской и Г. С. Комыш [50] по данным метеорологических наблюдений в экспедиции “Тайфун-81” установлена зависимость турбулентных потоков от различных синоптических ситуаций. Получено, что взаимосвязь величин q и LE , выраженная через число Боуэна, имеет для каждой синоптической ситуации свое значение. Н. И. Павловым и О. Д. Синяковой [51] по данным наблюдений НИС ДВНИГМИ показано, что чем интенсивнее тайфун, тем значительнее асимметрия распределения турбулентных потоков тепла в передней и тыловой частях ТЦ. Максимальные потоки тепла в передней части могут достигать 1800 Вт/м^2 .

Большое внимание было уделено изучению термического тайфунного потенциала океана [52–59]. Так, Н. И. Павловым [52] рассмотрена зависимость между интенсивностью тайфуна и характеристиками его температурного следа, оставленного в океане после прохождения тайфуна, а также влияние температуры поверхности океана на траекторию движения тропического циклона. Получено, что температурный след тайфуна зависит не только от их интенсивности, но и от термической структуры верхнего слоя океана. Выравнивание температур в следе тайфуна с фоном происходит на расстоянии примерно 1800–2500 км от районов их зарождения. Между интенсивностью тайфунов и понижением температуры поверхностного слоя океана существует обратная корреляционная зависимость — -0.47 . Горизонтальные градиенты теплового потенциала по обе стороны от следа тайфуна “Тесс” достигали 9000 кал/см^2 на 100 км. Ширина малоградиентного поля теплового потенциала в следе составляет 80–150 км. Наличие асимметрии температурного следа связано с различной скоростью ветра в правой и левой частях тайфуна. В исследованных случаях тайфуны, смещающиеся по параболическим и меридиональным траекториям, в основном следуют вдоль языков тепла, до точки поворота они отклоняются влево от осей языков тепла, после точки поворота — вправо. Смещаясь на запад и северо-запад, тайфуны пересекают языки тепла и холода под углом, близким к 90° .

В. П. Тунеголовцем выявлена зависимость формирования тропических циклонов от величины и знака аномалий теплосодержания 100-метрового слоя на западе тропической зоны Тихого океана [53]. Показано, что при положительных знаках аномалий теплосодержания вод к северу от 17° с.ш. и отрицательных в зоне северной тропической дивергенции число тропических циклонов, достигших стадии тайфуна, оказывается выше нормы, а при положительных аномалиях в зоне северной тропической дивергенции — ниже нормы.

Результаты исследований В. П. Тунеголовца [54] показали, что термический тайфунный потенциал океана является одной из важных характеристик при изучении эволюции тропических циклонов. Термический тайфунный потенциал океана в летние сезоны 1980 и 1982 гг. в области Северного Пассатного течения способствовал углублению тропических циклонов. Автор отмечает, что в формировании тропических циклонов определяющая роль, по-видимому, принадлежит атмосферным процессам. При прохождении мощных тропических циклонов в тропических и субтропических широтах значения потенциала океана могут понижаться до нуля. Восстановление термического тайфунного потенциала океана после прохождения тропических циклонов происходит лишь после разрушения следа тайфуна, т. е. почти за месячный интервал времени. Углубление тропических циклонов, проходящих вблизи о. Тайвань, видимо, обусловлено наличием высоких значений термического тайфунного потенциала в пределах квазистационарного антициклонического вихря.

В. П. Тунеголовцем и В. В. Покудовым [55] по изменениям температуры воды на разрезах, перпендикулярных траектории супертайфуна Винни (1980), и по наблюдениям на многосуточных станциях, отстоящих от траектории на расстояниях 10–350 км, представлены схемы вертикальной циркуляции вод спустя сутки и десять суток после прохождения супертайфуна Винни. Авторы сделали следующие выводы: перестройка поля циркуляции вод в следе тайфуна продолжалась весь десятидневный период наблюдения. Циркуляция вод

состояла из двух ярусов, в каждом из которых наблюдалось, по крайней мере, не меньше четырех локальных противоположно-направленных ячеек. Через сутки после прохождения тайфуна началось формирование верхней системы ячеек, через 3–5 суток — нижней. Наиболее интенсивный подъем вод наблюдался под “глазом” бури и сохранялся на этом уровне 6–7 дней. Видимо, выход термоклина на поверхность позже не возможен. Средняя суточная скорость вертикальных движений, определенная по смещению изотерм, в следе супертайфуна Винни достигала $2 \cdot 10^{-2}$ см/с. К концу десятых суток циркуляция вод состояла из системы четырех ячеек в слое от поверхности до глубин 700–900 м с подъемом вод под “глазом” бури и опусканием на расстоянии 200 км от траектории. Область подъема вод располагалась на расстоянии 350–380 км от центра. Под “глазом” бури с глубин 700–800 м наблюдалось опускание вод, что косвенно указывает на заглубление нижнего яруса ячеек циркуляции. Размеры ячеек вдвое больше, чем в первые двое суток.

В. В. Изотовой, Е. С. Пластуненко и В. П. Тунеголовцем [56] показано, что расположение зон достижения тайфунами максимальной интенсивности соответствует расположению очагов повышенных значений ТТПО (тайфунный термический потенциал океана) вблизи Филиппинских и гряды Марианских островов. В осенний сезон число тайфунов, достигших максимальной интенсивности, в центральной части Филиппинского моря в 3–4 раза меньше, чем в районе Марианских островов. При сохранении благоприятных условий в океане для развития тайфунов севернее 20° с.ш. интенсификации не происходит. Это можно объяснить смещением к югу в осенний сезон полярного фронта и ВЗК, а значит, и сокращением акватории с влажным тропическим воздухом, в пределах которой происходит тайфунная деятельность. Таким образом, соответствие зон повышенных значений ТПО зонам наиболее высокой частоты достижения тайфунами максимальной интенсивности подразумевает наличие значимой корреляционной связи между интенсивностью ТЦ и величиной, характеризующей запасы тепла верхнего слоя океана.

В работе [57] А. П. Закаблукоским и Г. Г. Барановым рассматриваются особенности составляющих бюджета тепла Южно-Китайского моря в период максимального развития юго-западного муссона. Показано, что основным источником поступления тепла и влаги в атмосферу является южная часть моря, где отток тепла за счет испарения преобладает над радиационным притоком. В северной части моря наблюдается противоположная картина.

По результатам 40-го экспедиционного рейса НИСП “Прибой” В. А. Дубиной [58] дается характеристика распределения термического тайфунного потенциала океана летом в Южно-Китайском море. Рассматривается вопрос о возможности и характере влияния вод Южно-Китайского моря на проходящие над его акваторией тропические циклоны.

Термодинамические и энергетические характеристики атмосферы в зоне деятельности ТЦ. Распределение кинетической, потенциальной, внутренней, лабильной энергии и энергии фазовых превращений воды в тайфуне различной интенсивности отражено в работе Н. И. Павлова и В. В. Горчаковой [59]. Авторами получено, что максимальные значения Кинетической энергии вращения в тайфуне наблюдались в слое земля — 700 гПа. С высотой кинетическая энергия вращения уменьшалась, что связано с уменьшением плотности воздуха. Кинетическая энергия по-

ступательного движения имела наибольшие значения на возвратной ветви параболической траектории тайфуна. В стадиях возникновения и заполнения тайфуна она сравнима с кинетической энергией вращения. В стадии максимального развития тайфуна кинетическая энергия вращения в десятки раз больше кинетической энергии поступательного движения. Потенциальная энергия единичной массы достигала минимума в момент максимального развития тайфуна. В период трансформации тайфуна во внетропический циклон потенциальная энергия тайфуна увеличивается. Внутренняя энергия в тайфунах примерно в 4 раза больше потенциальной энергии. Энергия фазовых превращений воды в тайфуне сравнима с потенциальной энергией. С высотой энергия фазовых превращений воды уменьшается от момента возникновения тайфуна к стадии его заполнения.

В статье [60] по данным экспедиционных исследований 1970 и 1971 годов Н. И. Павловым приводятся результаты анализа структуры и энергетики атмосферы на периферии тайфунов Ольга, Вильда и Бесс. Рассмотрена вертикальная структура ветра, устойчивость атмосферы, конвективные явления и эффект выделения скрытой теплоты парообразования.

Вертикальная структура мезомасштабного тропического циклона, наблюдавшегося на аэрологическом полигоне 6 октября 1975 г. (в период проведения экспедиции “Тайфун-75”), исследуется в работе [61]. Н. Н. Бельской, Е. П. Веселовым и Н. И. Павловым обнаружено, что в области тропического циклона происходит интенсивный воздухообмен между тропосферой и стратосферой. Вертикальные скорости воздуха в нижней стратосфере достигают значений порядка нескольких десятков сантиметров в секунду, вертикальный поток массы воздуха через аэрологический полигон равен примерно 10^{13} г/с, а энергия фазовых превращений воды при конденсации соизмерима с аналогичной величиной в тайфунах.

Ими же [62] по данным экспедиции “Тайфун-75” получен ряд циркуляционных и энергетических характеристик атмосферы вблизи тропических циклонов северо-западной части Тихого океана летом-осенью 1975 г. Отмечены интенсивный воздухообмен в тропических циклонах, депрессиях и ВЗК по горизонтали и между стратосферой и тропосферой, резкие изменения знака и величины упорядоченных вертикальных движений. Показано, что зоны конвективных облачных спиралей характеризуются значительными величинами относительного вихря скорости ветра, конвергенции в нижних слоях тропосферы и сильными ливневыми дождями.

Анализ распределения общего влагосодержания на периферии тайфунов, а также в зонах их деятельности по материалам экспедиций “Тайфун-75” и экспедиционных рейсов в точку 15° с.ш., 135° в.д., дается Н. И. Павловым в [63]. Максимальное значение влагосодержания отмечается на периферии тайфунов и в ВЗК. Минимум влагосодержания наблюдается в ядрах высокого давления, формирующихся в тыловых частях тайфунов. Наибольшее количество водяного пара сосредоточено под инверсией в нижнем километровом слое, на который приходится 30–40% общего влагосодержания.

Н. И. Павловым, Л. И. Евдокимовой и С. П. Стефановской [64] проведен анализ распределения общего влагосодержания (в слое 0–10 м), а также влагосодержания в слоях толщиной 100 м на периферии тайфунов, в ВЗК, пассатных волнах, в “следе” тайфуна Вирджиния по материалам экспедиции “Тайфун-78”. Спектральный анализ

временных рядов общего влагосодержания в стационарных точках тропической зоны указывает на наличие колебаний влагосодержания с периодом 3–4 суток.

Структура полей ветра, температуры и влажности в тропическом шторме 8008 “Джой” в период экспедиции “КИСЗ-80” рассмотрена В. И. Верхолазовым и А. В. Щегловым [65].

В [66] (Н. И. Павлов, Л. И. Евдокимова, Ю. Д. Нацикин и С. С. Литвинова) по данным аэрологических наблюдений в 27-м рейсе НИСП “Прилив” дается анализ изменчивости содержания водяного пара, скрытой теплоты конденсации, энтальпии, внутренней и кинетической энергии в тропической зоне при различных синоптических ситуациях.

Анализ вертикальных движений в тропической и субтропической зонах северо-западной части Тихого океана по данным экспедиции “Тайфун-78” проведен Н. И. Павловым [67]. Автором предлагается способ оценки вертикальных скоростей в тайфуне по спутниковым данным об облачности. Приводится анализ соответствующих уравнений динамики атмосферы и адвекции температуры воздуха в тайфунах Вильда (1970 г.) и Бесс (1971 г.).

Л. И. Евдокимовой, Н. И. Павловым, С. П. Стефановской, В. В. Горчаковой и Е. В. Веретельник [68] по данным аэрологических наблюдений в экспедициях “Тайфун-78” и “Тайфун-80” проведен анализ изменчивости влагосодержания, скрытой теплоты конденсации, энтальпии и потенциальной энергии в тропической зоне Тихого океана при различных синоптических ситуациях. Приведены некоторые статистические характеристики задерживающих слоев.

В работе [69] по данным аэрологического зондирования атмосферы на судах в экспедиции “КИСЗ-80” Н. И. Павловым исследуется структура атмосферы и содержание энергии в различных слоях атмосферы на периферии тайфунов в летне-осенний сезон 1980 г. Отмечена асимметричность в распределении циркуляции и энергии в различных частях тайфунов.

Л. И. Евдокимовой и В. П. Тунеголовцем [70] проведен анализ структуры атмосферы вокруг развивающегося в течение трех суток тропического возмущения. Данные об атмосфере получены с привлечением композиционного метода исследования. Рассмотрены следующие параметры атмосферы: относительная влажность, сдвиг ветра, влажность в средней тропосфере, поле температуры на различных изобарических поверхностях, поле ветра (зональная, меридиональная, радиальная, тангенциальная и вертикальная составляющие скорости ветра), а также поле линий тока. Авторами выявлен ряд параметров, при которых происходит усиление возмущения и переход его в стадию тропической депрессии.

В [71] Л. И. Евдокимовой разработаны основные принципы прогноза зарождения тропических циклонов на основе выявленных параметров, способствующих дальнейшему усилению возмущения. В работе приведена схема для принятия решения при прогнозировании зарождения тропических циклонов с заблаговременностью до трех суток. Эта схема идеализирована, поскольку выполнение ее возможно только при наличии указанных в работе материалов. Рабочая проверка данной схемы возможна при наличии методики расчета полей ветра в тропической атмосфере, а также данных об общем влагосодержании и некоторых других параметров дистанционными методами зондирования.



Выступление В. П. Тунеголовца на конференции, посвященной 50-летию ДВНИГМИ. 2000 г.

Характеристики условий конвекции в тропической зоне северо-западной части Тихого океана рассмотрены в [72–74]. Так, в [72], применив кластерный метод классификации, в котором в качестве метрики выбрана безразмерная величина χ , В. Д. Бохан и Е. С. Пластуненко разделили циркуляционные системы тропической зоны на четыре класса. К первому классу отнесены ВЗК и облачная спираль тайфуна. Ко второму — юго-западный муссон Южно-Китайского моря. К третьему — пассатный поток, экваториальная область низкого давления. К четвертому — субтропический антициклон, субтропический циклон и периферия передней части тайфуна. В [73] показано распределение зон конвекции, характеризуемых параметром χ , и аномалий интегрального влагосодержания W на периферии композиционного тайфуна по результатам экспедиции “КЭТИ-82”. В. Д. Боханом получено, что углубляющийся тайфун резко асимметричен по характеру распределения полного влагосодержания и его конвективных зон. Автор делает предварительный вывод о незначительной роли хвостовых конвективных полос в снабжении внутренней области тайфуна влагой. В работе [74] Л. И. Евдокимовой и В. П. Тунеголовцем проведено исследование развития глубокой конвекции в процессе зарождения и эволюции тропических циклонов. В качестве параметров глубокой конвекции принимались высоты уровней конденсации и конвекции приводной частицы воздуха, влагосодержание атмосферы и энергия неустойчивости в слоях тропосферы 1000–800, 850–500 и 1000–200 гПа. Показано, что из всех перечисленных параметров определяющее влияние на развитие глубокой конвекции оказывает энергия неустойчивости приземного слоя. Выявлены некоторые общие для шести ТЦ закономерности условий конвекции на разных стадиях их развития, подтверждающие торообразность строения вихря.

Особое место среди параметров атмосферы, с помощью которых прогнозируется эволюция тропических циклонов на ранней стадии развития, принадлежит верхнетропосферному восточному струйному течению (ВСТ) [75–78]. В. Д. Боханом и А. К. Виприцкой [75] представлены средние характеристики восточного тропосферного струйного течения (ВСТ), наблюдавшегося в северо-западной части Тихого океана. Показана генетическая связь его с развитием тайфунов. Отмечено, что любой тайфун независимо от продолжительности его существования, формы траектории и глубины сопровождается возникновением струйного течения. Струйные течения отмечаются, в основном, в юго-восточном и частично в юго-западном квадрантах ТЦ. При этом область существования ВСТ располагается, как правило, слева от траектории тайфуна. В работе [76] В. Д. Боханом была показана генетическая связь ВСТ с развитием тайфунов. Автор утверждает, что ось ВСТ и ее максимум дивергенции отмечаются на уровне H_{150} и в процессе эволюции ТЦ (тропическая депрессия — тропический шторм — тайфун) интенсивность ВСТ, так же как и интенсивность дивергенции, не меняется, с одной стороны, говорит об их тесной связи, а с другой стороны, позволяет заключить, что роль крупномасштабной дивергенции в тропическом циклогенезе (равно как и ВСТ) состоит, по-видимому, в том, чтобы создавать необходимый фон развивающимся системам. По результатам стандартных радиозондовых наблюдений за 10 лет (1961–1970 гг.) в тропической зоне северо-западной части Тихого океана В. Д. Боханом [77] с помощью композиции создано два набора данных: “композиционная” атмосфера вокруг развивающейся в тропической депрессии и “композиционная” атмосфера вокруг развивающейся в тропический шторм депрессии. Показано, что в случае развивающейся депрессии в верхней тропосфере на уровне антициклонического оттока находится обширная зона интенсивной дивергенции, взаимосвязанная с восточным тропосферным струйным течением умеренной интенсивности. В работе [78] Е. С. Пластуненко и В. П. Тунеголовцем представлены результаты расчета вероятности появления струйного течения в различных секторах композиционного тайфуна. Область более высокой частоты ВСТ расположена в южном секторе композиционного тайфуна — между 10° и 20° с.ш. Наибольшая скорость ВСТ отмечается южнее центра тайфуна, в секторе 135° – 224° , и не превышает 26 м/с. Пояс максимальных скоростей ВСТ простирается за 25° от центра ТЦ. Отсюда авторы заключают, что максимальная струя наблюдается при нахождении тайфуна приблизительно на 35° с.ш.. Усиление ВСТ при выходе тайфуна на 20° – 30° с.ш., вероятно, связано с усилением восточного потока на северной периферии высотного верхнетропосферного антициклона. ВСТ со скоростями более 30 м/с наиболее часто отмечаются в юго-восточном секторе между 15° и 30° с.ш.

Изучение условий зарождения ТЦ. В семидесятых, начале восьмидесятых годов под руководством Н. И. Павлова велись работы по выявлению связи частоты возникновения ТЦ с крупномасштабными особенностями общей циркуляции атмосферы: фронтами, внедряющимися из умеренных широт, антициклоническими структурами и ложбинами на верхних уровнях, волновыми процессами в ВЗК, под действием которых ТЦ возникают сериями: по два — три в серии, холодными вторжениями и т. д. [79–81]. Н. И. Павловым и А. Е. Акимовым [79] показана роль холодных вторжений воздуха

по юго-восточной периферии гонолульского субтропического антициклона в возникновении тайфунов. Анализ влияния общециркуляционных факторов на частоту появления тайфунов, проведенный в работе [80], позволил сделать некоторые выводы об их значимости. Н. И. Павлов отмечает, что изменение характера крупномасштабной циркуляции тесно связано с интенсивностью и характером траекторий перемещения тропических циклонов. Обнаружена четко выраженная зависимость между числом тайфунов и четвертой группой циркуляции по Б. Л. Дзержевскому, среднегодовыми индексами Е. Н. Блиновой и А. Л. Каца. Наблюдается также связь между серией тропических циклонов, возникших на полярном фронте, и ежемесячным числом тайфунов. Четко обнаруживается увеличение числа тайфунов с ростом меридионального переноса и уменьшение их числа при интенсификации обмена количеством движения между северным и южным полушариями. Обнаруженные выше корреляционные зависимости представляют интерес для усовершенствования методов прогноза возникновения ТЦ. По данным экспедиции “Тайфун-78” Н. И. Павловым и В. С. Кузиным [81] проведен сравнительный анализ роли различных синоптических ситуаций (ВЗК, муссонная ложбина, восточные волны, высотные ложбины) в зарождении и эволюции тропических циклонов. Максимального развития тайфуны достигали при их зарождении в ВЗК. Муссонная циркуляция наблюдалась до высоты 3–5 км при максимальном ее распространении до 8–9 км. Обострение муссонных ложбин происходило как вследствие проникновения высотных полярных ложбин в тропики (предтайфунный период) и усиления субтропического гребня, так и в результате развития тропических циклонов. Тайфуны, зарождающиеся в муссонной ложбине, возникали вначале в нижней тропосфере ($1\text{--}4$ км). Далее по мере выделения скрытой теплоты конденсации, циклоническая завихренность распространялась вверх и вниз. Антициклоны, формирующиеся в южной части Южно-Китайского моря, на севере Индонезии и юге Филиппинского моря, способствовали активизации экваториального юго-западного муссона, углублению муссонных ложбин и тропических циклонов. Параметры восточных волн (длина, амплитуда) были неодинаковыми для различных случаев зарождения тайфунов. Амплитуда восточных волн составляла 400–900 км и была соизмерима с диаметром тропических циклонов. Тайфуны зарождались в вершине ложбины восточных волн. Активизация пассатной волны имела место тогда, когда выше ее наблюдалась высотная ложбина. В этих случаях происходил разрыв пассатной волны, а влажный воздух распространялся до высоты 9–12 км. Распространение глубоких высотных ложбин из умеренных широт в тропики служило благоприятным фактором формирования тайфунов.

Связь параметров, характеризующих крупномасштабную атмосферную циркуляцию и состояние центров действия атмосферы с частотой зарождения и интенсивностью тайфунов, рассматривается Н. И. Павловым в [82]. На примере тайфуна “Кармен” (август, 1978 г.) В. С. Кузиным и Н. И. Павловым [83] исследуется влияние на его зарождение верхнетропосферной ложбины (ВТЛ). Максимальная циклоническая завихренность в области тропосферного вихря, образовавшегося в ВТЛ, наблюдалась в слое 500–550 гПа. Восходящие вертикальные движения отмечались во всей тропосфере.

В. Д. Пудовым и В. П. Тунеголовцем [84] на базе экспериментальных данных, полученных в 35-м рейсе НИСП "Океан", показана высокая степень корреляции между температурой поверхности океана, температурой и влажностью воздуха нижней тропосферы. Обнаружено локальное усиление ветра над пятнами более теплых вод. Высказывается гипотеза зарождения тропических циклонов. Авторы отмечают, что термические неоднородности поверхности океана с масштабами в десятки — сотни километров могут быть причиной зарождения циклонических вихрей в пограничном слое атмосферы, из которых при совпадении соответствующих условий развиваются ТЦ. Такими условиями являются: высокое значение ТПО и, как следствие, высокая влажность тропосферы; высокое значение теплозапаса верхнего слоя океана; малый вертикальный сдвиг скорости ветра между уровнями 900 и 200 гПа.

В. Д. Боханом [85] анализируется структура тропического шторма Вал. Рассматриваются причины перехода тропической депрессии в тропический шторм и его последующего заполнения.

А. К. Виприцкой и З. И. Черновой [86] на основе комплексного анализа ежедневных карт максимального ветра над северо-западной частью Тихого океана в июле-сентябре 1988 г. с соответствующими траекториями движения тропических циклонов, наблюдавшихся в этот период, выявлены благоприятные (неблагоприятные) условия ветрового режима в верхней тропосфере, способствующие развитию (разрушению) тропических циклонов. Показано, что 20 м/с является пороговой скоростью ветра в верхней тропосфере, при значениях ниже которой создаются благоприятные условия для возникновения, развития и существования зрелого ТЦ, а выше — неблагоприятные. Принимая во внимание пороговое значение скорости ветра, сделана попытка объяснить причины зарождения (незарождения) ТЦ. Высказывается предположение о том, что ежедневные карты максимального ветра, составляемые в тайфунный период, помогут не только определить возможные районы зарождения ТЦ, но и послужат дополнительной информацией, позволяющей корректировать траекторию движения ТЦ.

А. К. Виприцкой [87] показано, что одним из факторов, определяющих благоприятные и неблагоприятные условия на ранней стадии ТЦ, является периодическое существование в верхней тропосфере в тылу тропического возмущения антициклонического разворота субтропического струйного течения (ССТ) (открытая ложбина), приводящего к усилению интенсивности восточного потока выше порогового значения (> 20 м/с), способного при определенных условиях либо усиливать, либо подавлять возникшее тропическое возмущение (ТВ). Показано, что влияние открытой ложбины на ТЦ может быть как благоприятным, так и неблагоприятным в зависимости от взаимного расположения этих двух элементов общей циркуляции атмосферы и от крутизны антициклонического разворота ССТ, огибающего верхнетропосферную ложбину западного переноса. Для лучшего понимания жизненного цикла ТЦ и предвидения возможных изменений траектории необходимо не



Ю. В. Казанцев во время доклада на конференции, посвященной 50-летию ДВНИГМИ. 2000 г.

только совершенствовать систему наблюдений и обработку данных, но и попутно осуществлять более тщательный анализ и последующую интерпретацию имеющейся на текущий момент аэрологической информации.

Ею же в [88] на основе анализа ежедневных карт максимального ветра показано, что одна из причин активного тропического циклогенеза летом 1990 г. (за период 22 июня — 25 октября возникло 17 ТЦ) заключалась в особенностях крупномасштабного характера. Замечено, что на протяжении почти всего сезона субтропическое струйное течение к востоку от Японии испытывало антициклонический изгиб, создавая вариант открытой верхнетропосферной ложбины, усиливающей восточные потоки в широтной зоне, располагающейся южнее тропических возмущений. В такой ситуации открытая ложбина создает благоприятные условия для генерации тропических циклонов. Материалы исследования позволяют автору утверждать, что вариант верхнетропосферной открытой ложбины западного переноса является одной из важных особенностей общей циркуляции атмосферы, способствующей не только генерации ТЦ, но и интенсификации летнего постоянно существующего восточного тропического верхнетропосферного струйного течения и, соответственно, осадкообразованию над Индией.

И. А. Шараповым, В. П. Тунеголовцем, О. Л. Школьной [89] по аэрологическим данным, полученным в мае-июне 1989 г. во время комплексной тайфунной экспедиции, вдоль траектории трех тропических циклонов рассмотрен ряд интегральных характеристик атмосферы. Анализ карт распределения этих характеристик показал, что циклоны перемещались в основном вдоль зон максимальных значений анализируемых параметров. Замечено, что за сутки до зарождения циклонов очаги максимальных значений этих параметров располагались вблизи или над будущими районами зарождения.

Н. И. Павловым [90] исследована статистическая связь давления в центре тайфуна с параметрами облачного вихря. Средняя абсолютная ошибка определения давления в центре тайфуна по уравнению регрессии с учетом категории тайфуна составляет 8 гПа, а без учета категории — 13 гПа. Получена формула для расчета скорости ветра в тайфуне в зависимости от радиуса глаза бури и перепада давления между центром тайфуна и его периферией.

Исследование ТЦ на основе использования данных измерительного комплекса TOVS IC3 NOAA и геостационарных IC3. В 1986–1990 гг. исследовались возможности использования данных IC3 для изучения ряда параметров тропической атмосферы и некоторые вопросы методов их определения, создана основа информационной базы БД “Тайфун”, включающая в себя архивы “CYCLON”, “NOAA”, “Облачность-IC3”, “ТЦ”, судовых наблюдений и др.

О. Л. Школьной [91] на основе данных метеорологических и аэрологических наблюдений, проводившихся на НИСП “Океан” в период с 17 октября 1983 г. по 5 января 1984 г. в Южно-Китайском и Филиппинском морях, рассчитаны спектры радиояркостной температуры системы океан-атмосфера. Рассмотрены возможности СВЧ-радиометрических измерений для оценки гидрометеорологических параметров. Полученные регрессионные соотношения, связывающие потоки тепла с радиояркими температурами, могут способствовать получению регулярных данных о тепло- и влагообмене в глобальном масштабе. Некоторые результаты исследования структуры тропических циклонов, полученные на основе использования данных измерительного комплекса TOVS IC3 NOAA, приведены в работе И. А. Шарапова, В. П. Тунеголовца и О. Л. Школьной [92].

А. К. Виприцкой [93] в результате комплексного качественного сравнительного анализа 64 пар карт облачного ветра, построенных в периоды май-октябрь 1988 г. и май, июнь, август, сентябрь 1989 г. по расчетным данным японского геостационарного спутника GMS-3, карт максимального ветра, построенных в соответствующие сроки по данным радиозондирования береговых, островных и судовых аэрологических станций, показана аналогичность полей ветра на этих картах. Анализ конкретных примеров позволил автору утверждать, что с помощью карт облачного ветра, построенных по данным спутниковых наблюдений, можно исследовать верхнетропосферные потоки. Причем грамотная интерпретация этих карт позволит использовать их не только при решении вопроса развития (неразвития) ТЦ на ранней стадии, но и оперативно корректировать прогноз траектории движения ТЦ на протяжении всего их жизненного цикла.

В работе И. А. Шарапова, В. П. Тунеголовца и О. Л. Школьной [94] приведены краткие данные о бортовых IC3 и проанализированы особенности полученной информации. Изложена методика расчетов значений интегрального влагосодержания атмосферы, полученная на основе данных СВЧ поляриметра ПИ IC3 “Космос-1500 (1602)” за 1985–1986 гг. методом относительной калибровки. Полученные значения протестированы данными аэрологического архива CYCLON. Показано, что точность определения влагосодержания по данным IC3 вполне удовлетворительна. По данным расчетов построены поля интегрального влагосодержания атмосферы, на которых зоны максимального влагосодержания над низкими широтами Тихого океана устойчиво идентифицировались с ТЦ Ли, Марти, Слип и Тесс.

На основе данных комплекса TOVS IC3 NOAA и аэрологического архива CYCLON за август — сентябрь 1984 г., июнь — сентябрь 1985 г., май — август 1987–1988 гг. В. Н. Петровой [95] произведены регрессионные оценки точности восстановления значений интегрального и послойного влагосодержания атмосферы и температуры воздуха на основных изобарических поверхностях. Показано, что полученные уравнения регрессии позволяют достаточно точно по данным IC3 NOAA восстанавливать истинные значения влагосодержания и температуры атмосферы.

Результаты анализа параметров конвекции, полученных на основе данных измерительного комплекса TOVS IC3 NOAA в период жизненного цикла тропического циклона 8508, приведены в работе И. А. Шарапова, В. П. Тунеголовца и О. Л. Школьной [96]. Показано, что выявленные на основе упомянутых данных элементы структуры циклона хорошо согласуются с современной теорией о ТЦ как о торообразной системе вихрей. Подтверждены представления о преобладании процессов вынужденной конвекции на стадии депрессии и тайфуна, а глубокой конвекции — на стадии шторма.

По данным NCEP/NCAR Reanalysis Project за 1961–1999 гг. Г. А. Романовой и В. П. Тунеголовцем [97] исследованы ежемесячные поля вертикального сдвига ветра в слое 850–200 гПа, поля скорости ветра и его составляющих, поля завихренности и дивергенции на уровнях от 850 до 200 гПа. По данным об “облачном ветре” и по аэрологическим данным исследованы поля максимального ветра в верхней тропосфере. Проанализирован временной ход средней вертикальной скорости ветра на уровнях 850, 700 и 500 гПа по району 110–150° в.д. и 10–30° с.ш. и по району 150–180° в.д. и 10–30° с.ш. Установлено, что аномальность тропического циклогенеза 1998–1999 гг. связана с аномальностью развития вертикальных движений в ячейке Уокера-Бьеркнеса в годы резкого перехода от мощного Эль-Ниньо к мощному Анти-Эль-Ниньо. Процесс перехода, как правило, наблюдается летом в год окончания Эль-Ниньо и составляет всего один — три месяца. Основная причина слабого тропического циклогенеза 1998 г. заключается в слабых восходящих, либо даже нисходящих потоках воздуха в восточной зоне северо-западной части Тихого океана в сезон тайфунов и относительно слабых восходящих потоках в западной части. Основная причина слабого развития зародившихся тропических циклонов 1999 г. — смещение зоны их зарождения далеко к западу относительно своего среднего положения, что также определяется наличием слабых восходящих, либо даже нисходящих потоков воздуха в восточной зоне северо-западной части Тихого океана в сезон тайфунов. И в том, и в другом случае это является результатом взаимодействия азиатского летнего муссона с пассатной циркуляцией в совокупности с направленностью движений в ячейке Уокера-Бьеркнеса.

В работе [98] В. П. Тунеголовцем в качестве рабочей гипотезы принята кинематическая модель строения развитого тропического циклона в виде системы торообразных вихревых колец, предложенная Ю. В. Казанцевым, по которой система вихрей является каркасом циклона, проникающим для атмосферы, что позволяет предположить о возможности наличия остаточных эффектов в атмосфере, связанных с участием частиц воздуха, не входящих в систему вихря в общем процессе развития тропического циклона и после прохождения самого тропического циклона. Предлагается модель тропического циклона, представляющего собой “сборный” (композиционный) циклон на стадии тайфуна (давление

ниже 980 гПа) при его прохождении в полосе 20–21° с.ш. к востоку от 130° в.д. При этом принимается, что:

- внутренняя структура тропических циклонов одинаковой интенсивности аналогична друг другу; пространственное распределение характеристик атмосферы в тропическом циклоне на любом уровне есть функция расстояния от центра циклона;
- область зоны непосредственно тропического циклона пропорциональна радиусу зоны сильных ветров;
- воздействие тропических циклонов одинаковой интенсивности на океан и атмосферу аналогично друг другу; скорость перемещения тропических циклонов одинаковой интенсивности на определенных участках отличаются друг от друга незначительно.

Область непосредственно тропического циклона составляет 1.5 зоны сильных ветров (по натурным данным). Смещение к северу указанной области определено техническими возможностями станции приема спутниковой информации, расположенной на 36° с.ш. и 140° в.д. и способной принимать информацию к северу от 10° с.ш. Кроме того, выбор такой узкой полосы обеспечивает однородность тропической атмосферы в пределах деятельности тайфуна, при выборе же более широкой полосы эта однородность уже не будет обеспечена в связи с близостью фронтального раздела.

Для реализации поставленной задачи В. П. Тунеголовцем создан программный комплекс, позволяющий на основе архивов данных спутниковых наблюдений и архива о параметрах тропических циклонов проводить

расчеты термодинамических характеристик атмосферы в районе тропического циклона. Рассмотрено распределение полей атмосферных характеристик и подстилающей поверхности за трое суток до прохождения тропического циклона, на момент прохождения и спустя трое суток. На всех уровнях атмосферы и на поверхности океана в поле интегральных характеристик отчетливо выделяются особенности в их распределении, которые могут иметь отношение к прошедшему ранее за трое суток тропическому циклону.

Работы в этом направлении были продолжены в [99]. Л. И. Евдокимовой и В. П. Тунеголовцем проведен качественный анализ композиционных атмосфер в окружении тропического циклона по спутниковым данным применительно к малопараметрической модели строения циклона, разработанной в ДВНИГМИ.

Исследования структуры атмосферы и распределения термодинамических параметров атмосферы и океана проводились для групп композиционных атмосфер, соответствующих начальному развитию тропических циклонов в стадии тропического шторма (988–999 гПа) и циклонов в стадиях тайфуна (970–941 гПа) и супертайфуна (870–920 гПа), а также для восьми композиционных ТЦ с минимальным давлением в центрах (999–870 гПа), определенных градаций (через 10 гПа).

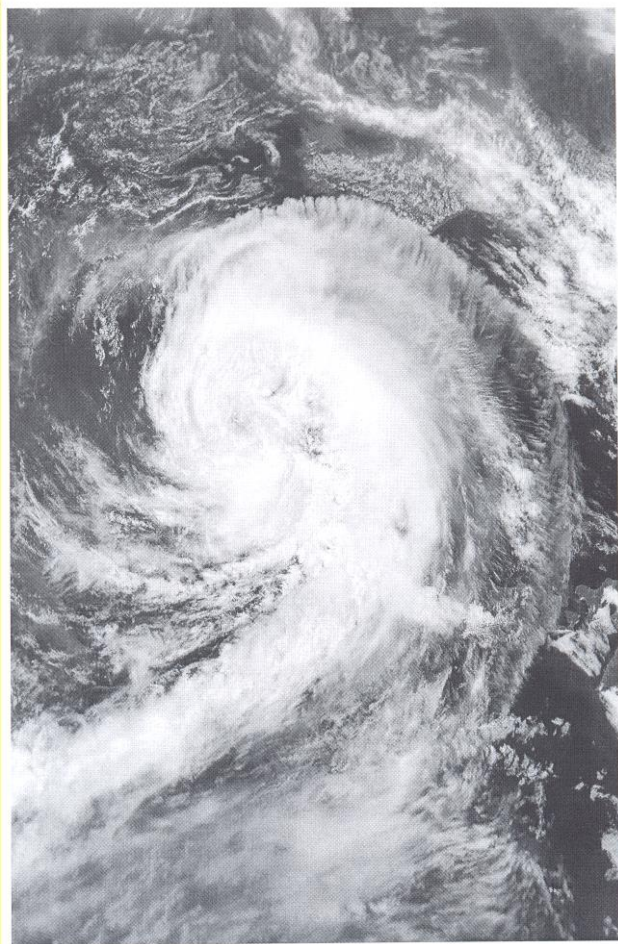
Анализ термодинамических характеристик атмосферы показал, что в поле температуры поверхности океана, а также температуры и влагосодержания тропосферы отчетливо выделяются особенности их распределения, которые могут иметь отношение к прошедшему ранее за 1–4 суток тропическому циклону.

В поле температуры поверхности океана на момент прохождения модельных ТЦ рост температуры в их передней части составил 1.5 °С. Наибольшее охлаждение наблюдается в зоне радиуса сильных ветров. В последующие дни — четверо суток максимум понижения температуры смещается к периферии.

В распределении температуры воздуха наибольшая изменчивость отмечается в приземном слое тропосферы (1000–850 гПа). В ТЦ интенсивностью от 960 до 941 гПа максимальная температура испытывает наибольшие колебания на уровне 1000 гПа, а минимальная температура наиболее изменчива на уровне 850 гПа в ТЦ с давлением 980–961 гПа. На высотах просматривается одна общая закономерность — более высокие значения температуры вблизи центра и вдоль бывшей траектории. Наиболее отчетливо обнаруженная закономерность прослеживается в слое 850–200 гПа.

В тропическом шторме в нижней тропосфере (на уровне 1000 гПа) на ближних радиусах — около 0.3 радиуса тропического циклона (R_{TC}) отмечается повышенный фон температур до 28 °С. Обширная область теплого воздуха (до 30.0 °С) располагается на северо-западной периферии композиционной области. Приток относительно холодного воздуха (25.0 °С) осуществляется на его северо-восточной и юго-восточной периферии. На уровне 400 гПа теплое ядро вблизи центра в это время еще невелико по своим размерам и интенсивности (–12.5 °С). Адвекция теплого воздуха в систему тропического циклона осуществляется в правом тыловом квадранте. Основная область низких температур отмечается в северной части композиционной области на удалении 0.5–1.0 R_{TC} от центра.

В тайфуне с давлением 941–970 гПа распределение температуры на уровне 1000 гПа имеет сложный характер из-за наличия на средних и дальних радиусах чередующихся областей относительно холодного и



**Вид тайфуна из космоса.
Из архива В. П. Тунеголовца**

теплого воздуха. Меридионально направленная зона повышенных температур (до 29.0 °C) проходит через центр композиционной области в зоне радиусом 0.5–1.0 R_{TC} . Основной максимум температуры располагается на периферии левого переднего квадранта. В тайфуне в западной части композиционной области в зоне радиусом 0.5 R_{TC} произошло понижение температуры на 1.5–2.0 °C по сравнению с тропическим штормом. На уровне 400 гПа обширная область тепла распространяется с северо-западной периферии тайфуна на средние радиусы правого тылового квадранта с максимумом (–12.0 °C) на расстоянии 0.3 R_{TC} севернее центра. Очаг минимальной температуры отмечается южнее центра композиционной области в зоне 0.3–0.7 R_{TC} .

В супертайфуне на уровне 1000 гПа основная зона повышенных температур располагается в левом переднем квадранте с максимумами на ближних радиусах (27.5 °C) и на северо-западной периферии (29.0 °C). Минимальная температура (25 °C) наблюдается на средних радиусах к западу от центра полигона. Области относительно холодного воздуха (до 24.0 °C) располагаются на его северной и южной периферии. На уровне 400 гПа основной максимум температуры (–12.0 °C) отмечается на средних радиусах западнее центра, а вблизи его температура составляет –14 °C, что на 1.5 °C выше фоновой. Зоны с низкими температурами (–16.0– –17.0 °C) располагаются радиально на удалении 0.3 R_{TC} от центра композиционной области. Минимальная температура (20.0 °C) прослеживается на северо-западной периферии ТЦ.

Сравнение поля температуры спустя сутки после прохождения модельных ТЦ различной интенсивности показало, что тропосфера вблизи центров тайфуна и супертайфуна холоднее, чем в тропическом циклоне. На уровне 1000 гПа эта разница составляет 2.0–2.5 °C, а на уровне 400 гПа — около 1.0 °C.

Анализ влагосодержания композиционных атмосфер в модельных ТЦ с разделением по стадиям развития показал, что в тропическом шторме в столбе атмосферы 1000–300 гПа обширная область втока влажного воздуха (5.6 г/см²) распространяется из правого тылового квадранта в левый передний, проходя на расстоянии 0.2 R_{TC} севернее центра. Второй максимум влагосодержания (6.0 г/см²) отмечается в левом тыловом квадранте на средних и дальних радиусах. На ближних радиусах к западу от центра наблюдается локальный очаг сухого воздуха (4.0 г/см²). Заток сухого воздуха с периферии осуществляется в левом переднем и левом тыловом квадрантах композиционной области.

В тайфуне интенсивностью (970–941 гПа) композиционная атмосфера характеризуется наличием в северной ее половине меридионально вытянутых областей с повышенным влагосодержанием (до 5.6 г/см²). Вблизи центра “глаза” содержание влаги не превышает 4.0 г/см². В тайфуне отмечается понижение влагосодержания в столбе атмосферы 1000–300 гПа в левой части композиционной области по сравнению с атмосферой в тропическом шторме.

В стадии супертайфуна произошло значительное иссушение в столбе атмосферы 1000–300 гПа, наиболее проявившееся в левой части композиционной области и в меньшей степени — в правой, снабжаемой влагой через конвективную облачную спираль. Влагосодержание вблизи центра не превышает 5.0 г/см².

Анализ поля ветра показал, что композиционная тропосфера сохраняет основные свойства тропического шторма в течение одних суток.

На уровне 850 гПа приток воздуха в тропический шторм, в основном, происходит в восточной его части и частично — в западной. На северной его периферии имеет место отток. В верхней тропосфере (250 гПа) в правом переднем квадранте преобладают южные и юго-западные ветры, т. е. происходит отток воздуха из системы тропического шторма. В правом тыловом квадранте наблюдается юго-восточный ветер. В левой же половине композиционной области отмечаются восточные ветры.

В тайфуне на уровне 850 гПа более четко, чем в тропическом шторме прослеживается приток воздуха от периферии к центру в восточной и западной частях композиционной области. Севернее центра ТЦ отмечаются ветры южной, а южнее его — северной составляющей. В верхней тропосфере на северной периферии тайфуна наблюдается антициклонический вихрь. На восточной его периферии прослеживается линия двухсторонней расходимости ветра. Основной отток воздуха происходит в северо-восточной части единичного радиуса тайфуна. Вторая область оттока наблюдается в юго-западной части ТЦ.

На момент выхода супертайфуна на уровне 850 гПа в правой части композиционной области отмечаются восточные ветры, меняющие свое направление на юго-восточные в передней части ТЦ и на северо-восточные в его тыловой части. В левой половине полигона имеют место ветры переменных направлений с преобладанием юго-западных потоков. В верхней тропосфере в восточной части композиционной области, так же как и в тайфуне, наблюдается линия расходимости ветра, вытянутая меридионально, т. е. отток воздуха происходит в передней части ТЦ. Вторая струя оттока наблюдается на его юго-западной периферии.

Анализ ветра в модельных тропических циклонах в стадиях тропического шторма, тайфуна и супертайфуна показал, что после исключения движения самого ТЦ поле ветра стало более симметричным. Несколько увеличилась кривизна траекторий в левой части композиционной области по сравнению с правой, т. е. скорость ветра в правой части ТЦ больше, чем в левой.

На уровне 850 гПа во всех модельных ТЦ основной приток воздуха к центру осуществляется в правой части композиционной области. Вынос воздуха от центра к периферии происходит в передней части ТЦ. В верхней тропосфере во всех модельных ТЦ в западной части композиционной области за пределами радиуса 0.5 R_{TC} преобладают восточные ветры. В восточной части ТЦ отмечается меридионально направленная линия двухсторонней расходимости ветра, расположенная на удалении около 0.7 R_{TC} от центра. Отток воздуха со средних радиусов осуществляется в правом переднем квадранте. По сравнению с тропическим штормом в тыловой части тайфуна и супертайфуна усилилась антициклоническая кривизна поля ветра и появилась зона оттока юго-западнее центра. В тайфуне и особенно четко в супертайфуне на удалении 0.5 R_{TC} севернее центра видна область оттока из внутренней части ТЦ. Можно предположить, что основной высотный отток происходит из внутреннего радиуса и дополнительно из внешнего радиуса. Однако, для подтверждения высказанного предположения необходимо рассчитать баланс количества движения.

Результаты анализа показали, что построенная модель атмосферы тропического циклона довольно корректно отражает общеизвестные закономерности в океане и атмосфере. Основываясь на данных фактах мож-

но сделать заключение о достоверности предлагаемой малопараметрической модели ДВНИГМИ строения тропической атмосферы и ее применимости для восполнения поля ветра в реальных условиях.

Математические и гидродинамические исследования Ю. В. Казанцева в области тропической метеорологии. Знание схемы строения тропических циклонов позволило бы более целенаправленно проводить их натурные исследования, делать более обоснованные предположения о причинах зарождения, о направлении эволюции тропических циклонов и создать более надежные методы расчета их перемещения. Ю. В. Казанцевым [100] предложена простейшая осесимметричная модель тропического циклона, состоящая из двух горизонтальных концентрических вихревых колец, вращающихся в горизонтальной плоскости. Из схемы модели следует существование уже открытых вихревых систем в океане под тропическим циклоном и еще не открытых вихревых систем над ним. Автор отмечает, что вихревые трубки, составляющие вихрь ТЦ, должны либо замыкаться, либо наматываться на тороидальное тело. В обоих случаях возникает система вихрей, напоминающая тор и вращающаяся в соответствии со знаком циркуляции вихревых трубок. В результате взаимодействия вихревых трубок в центре тора образуется полый вихрь. Воздух участвует в трех движениях: вокруг вихревых трубок; вдоль них и вокруг центрального полого вихря. При наличии поступательного движения ТЦ добавляется четвертое. Модель удовлетворительно согласуется с результатами наблюдений и может совершенствоваться по мере получения экспериментальных данных.

Им же в [101] с помощью уравнения Россби объяснено замыкание вихрей на свободную или твердую поверхность, форма смерчей, торнадо и центрального вихря тропических циклонов и изменение их завихренности по высоте.

Численное моделирование влияния северотихоокеанского антициклона на траектории тропических циклонов проведено в работе [102]. Ю. В. Казанцевым была разработана баротропная модель перемещения ТЦ, в которой ТЦ представляется как проникаемый для воздуха осесимметричный атмосферный вихрь в форме сферического слоя толщиной около 10 км и радиусом около 1000 км, все частицы которого имеют одинаковую угловую скорость. Этот вихрь движется по сферической земле, динамически взаимодействуя с подстилающей поверхностью и окружающей атмосферой.

Для иллюстрации зависимости траектории ТЦ от крупномасштабного распределения давления в атмосфере Ю. В. Казанцевым и Е. А. Микруковой [102, 103] проведен ряд расчетов при среднем многолетнем распределении давления в северо-тихоокеанском антициклоне в июле. Эти расчеты показали, что:

- рассчитанные траектории ТЦ в рассматриваемом районе в значительной степени определяются характером распределения давления в северотихоокеанском антициклоне и точностью его представления. Влияние северотихоокеанского антициклона на траектории ТЦ является известным фактом и учитывается при составлении синоптических прогнозов;

- сравнение рассчитанных траекторий тропических циклонов с фактическими [18, 19] показывает, что предлагаемая модель перемещения тропических циклонов позволяет получать основные типы их траекторий.

Для проверки учета в модели основных эффектов, определяющих движение ТЦ, был проведен численный эксперимент по воспроизведению перемещения 11 ТЦ [104]. Влияние сезонов и местных особенностей на результаты расчета исключено путем рандомизированного выбора ТЦ, возникающих в разное время в основных районах существования ТЦ. Средние ошибки составили 129, 211 и 310 км для перемещения за одни, двое и три суток соответственно. Для сравнения следует отметить, что гидродинамическая модель, описанная в [105], дает отклонения 159, 273 и 443 км, а ошибки официального метода прогноза перемещения ТЦ США на эти сроки равны 200–256, 365–533 и 469–834 км.

В [106] предлагается гипотеза циклогенеза, объединяющая положительные стороны конвекционной и динамической теории. Основой гипотезы является представление о планетарном источнике положительной завихренности на границах ячеек циркуляции атмосферы. Рассматриваются силы, действующие на циклоны, и высказываются предположения о процессах взаимопревращения циклонических макровихрей и циклонов. Рассмотренная гипотеза циклогенеза не объясняет некоторые характерные черты эволюции, строения и траекторий циклонов и имеет поэтому весьма ограниченную область применения. Но она довольно логично объясняет возникновение макровихрей, направление вращения воздуха в циклонах, причины движения циклонов к полюсу и некоторые особенности их траекторий. Предлагаемая гипотеза циклогенеза также позволяет объяснить роль циклонов в поддержании теплового баланса Земли.

Ю. В. Казанцевым показано [107], что работа внешних сил изменяет абсолютную кинетическую энергию воздуха, а известная формула геопотенциала справедлива лишь для изотермической атмосферы. Высказывается предположение об ограниченности области применимости дифференциального уравнения движения в метеорологии. Предлагается учитывать центробежную силу при рассмотрении движения атмосферы на сфероидальной Земле.

В [108] им получены дифференциальные уравнения движения макровихря с учетом физических сил (сил тяготения, давления и сопротивления среды) и сил инерции (центробежных и Кориолиса). Приведено аналитическое решение задачи для частного случая. Показано, что траектории вихревого образования, имеющего вертикальную ось симметрии, существенно зависят от сил, возникающих вследствие вращения сфероидальной Земли. Полученные результаты могут быть полезны при рассмотрении движения циклонов, антициклонов, тропических циклонов, океанских вихрей.

Ю. Н. Волковым и Ю. В. Казанцевым [109] рассмотрена математическая модель перемещения тропического циклона по вращающейся сферической Земле при заданном законе движения безградиентной вязкой атмосферы. Тропический циклон авторами представляется в виде вертикального вихря, проникаемого для набегающего потока. Численные расчеты показали, что данная модель позволяет получать многие характерные черты движения тропических циклонов (трохоидальный характер траектории, петлеобразное движение центра циклона, точку поворота и т.д.). Обнаружена область значений начальной угловой скорости вращения вихря, малое изменение которых ведет к резкому изменению формы его траектории. Полученные результаты могут быть применены также при рассмотрении движения макровихрей в океане, литосфере и в атмосферах других планет.

Первой попыткой получить математическое описание структуры ТЦ является работа [110]. Ю. В. Казанцевым описана осесимметричная модель неподвижного стационарного тропического циклона (ТЦ), состоящая из горизонтальных вихревых колец. Получены аналитические выражения для скорости воздуха в ТЦ (нисходящие движения вблизи центра, положительные радиальные скорости от центра до области интенсивного подъема воздуха, отождествляемой с облачной стеной, отрицательные значения вертикальной и радиальной скорости на периферии ТЦ). Результаты расчета удовлетворительно совпадают с фактическими данными. Модель может быть использована для расчета параметров перемещения ТЦ и представляет несомненный интерес.

В работе [111] рассмотрена баротропная модель тропического циклона, представляемого в виде воздушного вихря, движущегося при заданном крупномасштабном распределении давления в атмосфере. Скорость крупномасштабных движений атмосферы определяется из геострофических соотношений. Проведенное сравнение фактических и расчетных траекторий тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана в июле показало, что предлагаемая модель перемещения тропических циклонов позволяет получать некоторые основные типы траекторий.

С помощью обобщенной теоремы Гельмгольца Ю. В. Казанцевым показано, что вихри в невязкой баротропной атмосфере замыкаются сами на себя, образуя торообразные вихревые поверхности [112]. Высказывается предположение о взаимопревращаемости циклонических и антициклонических вихрей.

Ю. В. Казанцевым и В. П. Тунеголовцем [113] сделан вывод об отсутствии явной зависимости эволюции ТЦ от условий в непосредственном окружении ТЦ при его перемещении. То есть, на большом статистическом материале показано, что условия зарождения и параметры ТЦ при его формировании остаются главными действующими факторами в течение всего жизненного цикла ТЦ. Получено, например, что начальный момент количества движения сверхмощных тайфунов более чем в два раза превышает момент "среднего" тайфуна, а для наиболее глубоких ТЦ — более чем в пять раз.

Ю. В. Казанцевым с соавторами (М. Р. Гарбер, Л. И. Евдокимова) [114, 115] показано, что возникновение ТЦ происходит при выходе крупномасштабного вихря в область со значениями температуры приводного слоя воздуха и вертикального градиента температуры, достаточными для подъема воздуха на высоту, большую уровня смены знака угловой скорости вращения вихря. Высота над уровнем моря, на которой происходит смена знака угловой скорости вихря, может быть определена из обобщенного уравнения Россби [101].

Концепция представления движения атмосферы как суммы поступательного установившегося движения воздуха и неустановившегося движения вихрей описана Ю. В. Казанцевым в работе [116]. Там же приведены уравнения движения для простейшего случая движения одного атмосферного вихря, представляемого в виде проникаемого для воздуха кругового цилиндра, вращающегося с одинаковой для всех частиц угловой скоростью движущегося по сферической Земле в условиях взаимодействия с подстилающей поверхностью и окружающей атмосферой, дви-

жение атмосферы рассчитывается по геострофическим соотношениям по заданному полю приземного давления.

В работе [117] Ю. В. Казанцевым и В. П. Тунеголовцем описана модель эволюции ТЦ на ранней стадии развития. Под эволюцией ТЦ на ранней стадии развития понимается прохождение их стадий тропического возмущения и тропической депрессии до стадии тропического шторма. Анализ расчетов момента количества движения, проведенных в предположении равенства масс начальных вихрей, позволил авторам сделать вывод, что эволюция тайфунов в значительной мере определяется значением момента количества движения на ранних стадиях развития ТЦ.

В работе Ю. В. Казанцева и Л. И. Евдокимовой [118] рассмотрена вихревая гипотеза возникновения тропических циклонов. Показано, что тропический циклон может образоваться лишь в том случае, когда торообразный циклонический вихрь попадает в область влажного воздуха, содержание водяного пара в котором позволяет частицами воздуха подняться выше уровня смены знака угловой скорости. При этом вток воздуха на нижних уровнях сменяется оттоком на его верхних уровнях.

Монография Ю. В. Казанцева [119] посвящена широкому кругу проблем аэродинамики атмосферы: математическому выражению фундаментальных законов Земли, вихревому характеру движений в атмосфере и др. Автор делает вывод об ограниченности применения классических дифференциальных уравнений движения для описания реальной атмосферы и предлагается интегральный вариант второго закона механики, который иллюстрируется использованием "пакета" при решении задачи движения воздуха перед движущейся пластиной. Большое внимание в работе уделяется вихревой природе движений в атмосфере, закону сохранения момента количества движения и непосредственному использованию его при описании тропических циклонов.

Ю. В. Казанцевым и В. П. Тунеголовцем [120] на основе принципов теории подобия проанализированы данные архива тропических циклонов северо-западной части Тихого океана и выделены два класса тропических циклонов, каждый из которых подразделяется на два типа (по сравнению с 21 типом по Грею).



Сотрудники отдела на природе. Начало 1980-х г.

Моделирование тропических циклонов

Результатом научной деятельности в области тропической метеорологии явилось создание в ДВНИГМИ в восьмидесятых годах различного типа моделей строения, эволюции и перемещения тайфунов: феноменологическая модель строения тропического циклона, синоптические модели возникновения и эволюции тропических циклонов на ранней стадии развития, статистическая модель эволюции и динамическая модель перемещения тайфунов, а также вероятностная модель расчета выхода тайфунов на районы российского Дальнего Востока и торообразная модель строения ТЦ.

Физическое моделирование. Сотрудниками института были разработаны лабораторные модели, позволяющие исследовать особенности структуры, динамику, энергетику и устойчивость вихревых движений. Группой прикомандированных специалистов из центральных институтов и специалистов ДВНИГМИ (Н. И. Павлов, Л. И. Евдокимова, В. Г. Федорей, С. С. Лисавский, В. И. Верховатов, Н. И. Лисогурский и др.) проведены работы по лабораторному моделированию зарождения вихрей в потоках со сдвигом скорости, моделированию отдельных элементов ТЦ, в частности его центрального ядра. Основные результаты физического моделирования приведены в работах [121–126].

В [121] предлагается экспериментальная установка, позволяющая моделировать вихри типа торнадо и тропических циклонов. Разработанная установка позволяет качественное и количественное исследование гидродинамических и тепловых характеристик вихреобразования, а также дает возможность моделировать взаимодействие атмосферных вихрей с подстилающей поверхностью.

Особенности развития крупномасштабных возмущений в вихревых течениях рассмотрены группой авторов в [122].

Результаты лабораторных экспериментов применительно к задачам тропической метеорологии приводятся в [123]. Обсуждается возможность использования данных лабораторных экспериментов при решении некоторых прогностических задач тропической метеорологии.

В [124] представлены результаты эксперименталь-

ных исследований перемещения свободно-конвективного вихря в поле массовых сил, установлена взаимосвязь между изменением во времени диаметра глаза вихря и расстоянием его центра от геометрического центра установки. Представленные результаты исследований подтвердили, что поле массовых сил и асимметрия тангенциального втока оказывает воздействие на местонахождение и траекторию перемещения вихря и дает возможность управлять ими.

На лабораторной установке свободного вихря [125] рассматривается влияние дополнительного оттока воздуха в верхней части вихря на его интенсификацию. Приводятся данные о повторяемости барических систем в верхней тропосфере над центром ТЦ. Некоторые результаты лабораторного моделирования вихревых образований приведены в [126].

Композиционное моделирование. Композиционные модели атмосферы строились вокруг ТЦ (тропической депрессии (TD), тропического шторма (TS), тайфуна (T)) — В. Д. Бохан [73, 75–77], модель восточного струйного тропосферного течения — Е. С. Пластуненко, В. П. Тунеголовец [78], модель тропического возмущения Л. И. Евдокимова, В. П. Тунеголовец [70, 74], модели тропической атмосферы по данным приборных комплексов TOVS IC3 NOAA в следе тайфуна В. П. Тунеголовец и Л. И. Евдокимова [88, 99]. В последних моделях привлечена новая технология определения места наблюдения до центра ТЦ, проявившаяся в нормировании размеров ТЦ.

Разработанная синоптическая модель эволюции ТЦ с привлечением композиционного анализа [72, 78] позволила установить что:

- при благополучных локальных условиях циклогенеза, которые существуют почти всегда в сезон тайфунов, условия эволюции ТЦ зависят от динамических процессов в верхней тропосфере. Верхнетропосферная ложбина (ВТЛ) в слое 300–200 гПа и восточное струйное течение (ВСТ) в слое 200–100 гПа играют роль в тропическом циклогенезе. Создающаяся система потоков в верхней тропосфере способствует эффективному отводу тепла от развивающейся системы с одной стороны и созданию крупномасштабного потока интенсивной дивергенции с другой;

- являясь зависимыми от окружающих крупномасштабных потоков, тропические циклоны, в свою очередь, в процессе эволюции оказывают большое влияние на крупномасштабное распределение общего влагосодержания тропической атмосферы и значительно “возмущают” поле температуры в верхней тропосфере (в годовом ходе среднеквадратической изменчивости температуры на уровнях H_{150} и H_{100} максимум изменчивости отмечался в сезон тайфунов). С этой точки зрения тропический циклон не являлся мезомасштабным образованием;

- углубляющийся тайфун резко асимметричен по характеру распределения общего влагосодержания атмосферы и его конвективных зон. Периферия передней части тайфуна по интенсивности конвекции значительно отличается от периферии его тыловой части и близка к условиям конвекции в антициклоне;

- основное питание активной зоны тайфуна радиусом около 100 км, то есть заток влаги, необходимый для его жизнедеятельности, осуществляется в передней и правой частях в слое втока, максимум которого находится в



На юбилейной встрече, посвященной 50-летию ДВНИГМИ

подоблачном слое. Размеры области сбора влаги намного превышают размеры основного облачного массива тропического циклона, что подтверждает незначительную роль океана под центральной частью тайфуна как основного источника влаги, поступающей через повышенное испарение с поверхности.

Синоптическое моделирование. Отдельно можно выделить синоптическое моделирование, в результате которого В. С. Кузиным построены пять синоптических моделей атмосферы в периоды формирования тропических циклонов [83, 127, 128]. Каждая синоптическая модель показывает развитие синоптических процессов как в верхней, так и в нижней тропосфере в период зарождения ТЦ от начального тропического возмущения до стадии тропической депрессии (ТД). За основу были приняты типы атмосферной циркуляции в тропической зоне Тихого океана, а также взаимодействие циркуляций в верхней тропосфере с синоптическими системами нижней тропосферы. Согласно синоптическим моделям зарождение ТЦ может происходить: на северной границе ВЗК; в восточной волне пассатного потока, на границе муссонной ложбины и пассатов северного полушария, при вторжении ВТЛ южного полушария с тропосферным фронтом в экваториальную область Тихого океана, также под влиянием холодного верхнетропосферного мезовихря. По полученным синоптическим моделям циркуляции создан метод прогноза зарождения тропических циклонов [128]. Разработанные синоптические модели зарождения (формирования) тропического циклона позволили установить, что:

- в тропической зоне Тихого океана существует три основных типа атмосферной циркуляции северного полушария и два подтипа южного полушария, каждой из которых свойственны свои определенные закономерности развития атмосферных процессов, продолжительность которых до момента появления тропического циклона составляет 3–5 суток [128];

- атмосфера, окружающая формирующийся в течение трех суток тропический циклон, в пределах 0–10 км представляет сложную чередующуюся систему втока и оттока. В пределах радиуса 10–15 км во всей тропосфере осуществляется вток массы. В это время, за трое суток до появления ТЦ в нижней тропосфере преобладает циклоническая циркуляция, в верхней — антициклоническая (Л. И. Евдокимова, В. П. Тунеголовцев [70, 71]).

Особая роль при синоптическом моделировании принадлежит субтропическому верхнетропосферному струйному течению (ССТ). В [93] было замечено, что если антициклональный разворот ССТ наблюдался к северо-востоку от тропического возмущения, то, в зависимости от крутизны разворота, усиление восточного потока может наблюдаться: в широтной зоне тропического возмущения; севернее зоны тропического возмущения; южнее зоны тропического возмущения.

Влияние открытой ложбины во всех трех вариантах будет различным. Наиболее существенным оно оказывается при усилении восточного потока к северу и к югу от зоны тропического возмущения. Во втором варианте фоновый поток будет оказывать влияние на траекторию смещения ТЦ. В третьем случае усилившийся восточный поток активизирует генерацию шторма за счет усиления антициклонального оттока от ТЦ, наблюдающегося на его южной периферии. В этом варианте открытая ложбина создает благоприятные условия для генерации ТЦ. В случае наличия интенсивного восточного потока в зоне 5–15° с.ш. интенсивность тропического циклогенеза резко уменьшается. Возникновение ТЦ в той или иной зоне северо-западной части Тихого океана

зависит от местонахождения интенсивных (>20 м/с) восточных потоков в тропических широтах, обусловленных антициклональным разворотом субтропического струйного течения, формирующего зону затишья.

Статистическое моделирование. Первые модели перемещения и эволюции тайфунов в ДВНИГМИ были разработаны Н. И. Павловым [129, 130] в 1977 году. В [129] рассматривается модель перемещения тайфуна с учетом взаимодействия с окружающими крупномасштабными вихрями (тайфун, два субтропических антициклона, полярнофронтальный циклон). Получены аналитические формулы для центра инерции и скорости перемещения тайфуна. В качестве параметров в формулы входят размеры вихрей, их интенсивность и местоположение относительно центра тайфуна. Автор отмечает, что ослабление субтропических антициклонов способствует смещению тайфунов с востока на запад или с юго-востока на северо-запад. Напротив, усиление субтропического антициклона ввиду сравнительно небольшого удаления центра инерции способствует смещению тайфуна по параболической траектории и выходу его в умеренные широты. Большое влияние на перемещение тайфунов оказывает полярнофронтальный циклон или полярная ложбина. В отличие от модели В. В. Шулейкина, разработанная Н. И. Павловым [130] нестационарная модель эволюции тайфуна учитывает боковой приток водяного пара. Автор отмечает, что углубление тайфуна с течением времени будет зависеть от его радиуса, общего влагосодержания в слое втока воздушных масс (бокового притока влаги) и площади кольцевой штормовой зоны. Чем больше боковой приток влаги и чем меньше площадь кольцевой штормовой зоны, тем интенсивнее должен углубляться тайфун.

В 1985–1987 гг. были получены новые данные о структуре тропических циклонов, позволившие В. П. Тунеголовцу в 1986 г. построить модели эволюции ТЦ на ранней стадии развития [131], а также до и после достижения максимальной интенсивности [132].

Разработанная статистическая модель эволюции ТЦ, основанная на использовании безразмерных параметров, полученных с привлечением понятий теории подобия, позволила получить ряд структурных особенностей тропических циклонов [117, 120, 131–134], такие как:

- тропические циклоны по ходу эволюции разделяются на два главных типа, каждый из которых делится на два подтипа. Типы различаются по степени интенсивности, подтипы по виду траектории;

- типы и подтипы тропических циклонов статистически различимы уже на ранней стадии их развития, то есть на стадии тропической депрессии;

- аномальность в строении конкретных тропических циклонов может быть обнаружена по ходу безразмерных параметров на любой стадии их развития, но особенно в первой половине эволюционного цикла;

- изменения размеров вихря, образующего тропический циклон, носят пульсационный характер, что наиболее отчетливо проявляется по поведению внутренней части. В классе неразвивающихся ТЦ внутренней частью вихря служит зона радиусом с ветром 30 узлов и более, а внешней — зона с ветрами меньшей интенсивности (около 15 узлов). В классе развивающихся ТЦ внутренняя часть вихря ограничена ветрами 50 узлов;

- увеличение относительного момента количества движения ТЦ в первой половине периода их эволюции свидетельствует о наличии процесса растяжения вихря

по высоте, а спад в последней стадии — об уменьшении высоты. Одновременно горизонтальные размеры внутреннего полого вихря (тороидальная вихревая модель ТЦ) в процессе интенсификации тропического циклона возрастают;

- выполнение закона вращения “твердого тела” справедливо для внутренних частей циклонов радиусом около 150 и 200 км, соответственно, для ТЦ с зональной и параболической траекториями;

- резкое изменение отношений циркуляции вектора скорости в начальный период эволюции ТЦ, а также резкое изменение отношений ускорений, создаваемых силами давления в направлении радиуса, к центростремительному ускорению (коэффициент давления) говорят о наличии перестроек в структуре вихря ТЦ. Первая перестройка структуры ТЦ, видимо, связана с формированием внутреннего кольца циркуляции, которая наиболее отчетливо выражена у ТЦ, достигших стадии тайфуна, означает достижение им максимального развития и, наконец, третья перестройка у ТЦ, имеющих параболическую траекторию перемещения, видимо, связана с разрушением внутреннего кольца после взаимодействия ТЦ с западным субтропическим струйным течением и выходом ТЦ на полярный фронт;

- на малых периодах заблаговременности в развивающемся тропическом циклоне прогностические параметры интенсивности определяются, в основном, инерционными факторами, на больших — дополнительно также его положением;

- прогностические параметры интенсивности сильного тропического шторма или тайфуна, кроме инерционных факторов, определяются временем существования циклона от момента зарождения, моментом импульса и географическими координатами;

- прогностические параметры заполняющегося тропического циклона зависят, в основном, от инерционных факторов и от времени существования.

Статистическое моделирование тропических циклонов в настоящее время осуществляется по наборам параметров ТЦ, созданных как в ДВНИГМИ (1956–2003), так и полученным в результате международного обмена (набор Японского метеорологического агентства 1951–2002 гг., набор Объединенного центра США по предупреждению о тайфунах 1950–2001 гг. и др.).

О качестве наборов. Оценка положения центра определяется достаточно точно (несколько десятков км) при выходе центра на сушу. До 30–40 км определение точности принято считать отличным. Хуже всего местоположение определяется при нахождении ТЦ на ранних стадиях развития. Различия в технологиях определения центра тайфуна в различных центрах приводит к различию координат до 200 км (например, тайфун 0304 Linfa).

Принято считать, что давление в центре определяется с точностью до 5 гПа, максимальный ветер до 5 м/с. Но существенный вклад в точность оценок параметров ТЦ вносят различные технологии, существующие в различных прогностических центрах. Например, давление в центре тайфуна Herb (9609) по данным Японского метеорологического агентства, Центрального бюро погоды на Тайване и Объединенного центра предупреждения о тайфунах США (о. Гуам) отличались на 20–35 гПа в период максимального развития циклона.

В качестве рабочего принят набор ДВНИГМИ, созданный на основе данных Японского метеорологического агентства. Основная причина — оперативное пополнение на основе синоптических карт этого агентства. Собственной технологии восстановления

параметров в тропическом циклоне отечественная синоптика не имеет.

Для работы со всеми наборами были подготовлены программные комплексы, условно названные АРМ-1 (В. А. Дубина) и АРМ-2 (В. П. Тунеголовец) и др.

Но даже при таком состоянии дел с точностью измерений хотелось бы иметь еще и знания о зоне максимальных ветров, распределению изобар в циклоне и др. Особенно большая необходимость знаний о распределении ветра внутри тропической депрессии и тропического возмущения. Исследования Ю. В. Казанцева [117], В. П. Тунеголовца [132] показали, что расчет моментов импульса для отдельных конкретных циклонов несет в себе информации о возможной силе будущего ТЦ, и даже информацию о виде траектории.

Представляется важным отметить также факт возможности определения с вероятностью 80% уже на ранней стадии развития попадание ТЦ в разряд короткоживущих или долгоживущих тропических циклонов, а также с вероятностью 76% разделение ТЦ на классы с зональными и параболическими траекториями. Наконец, с вероятностью 79% можно определить на ранней стадии развития ТЦ переход его в последующем в разряды “слабых” (<33 м/с) и “сильных” (>36 м/с) тайфунов [135].

Полученные результаты по разделению тропических циклонов северо-западной части Тихого океана дали основание построить отдельно для каждого типа ТЦ свои параметрические модели строения и эволюции [131–135].

В. А. Дубиной и В. П. Тунеголовцем [136] разработана параметрическая модель строения ТЦ, выходящих на Южно-Китайское море, состоящая из 11 регрессионных уравнений, из которых пять описывают параметры циклона для ТЦ, не достигающих стадии тайфуна, и шесть для тайфунов. В уравнениях используются: давление, ветер, радиусы зон ветров определенной интенсивности, моменты количества движения как функции от параметров состояния ТЦ на момент расчета, угловые скорости, коэффициент давления, моменты количества движения торообразного вихря и вихря Рэнкина. Комплекс программ, объединенных единой оболочкой, позволяет кроме задач, присущих климатическому блоку АРМ-тайфунолога, решать в диалоговом режиме задачи по расчету параметров как для конкретных ТЦ, так и для выделенных типов. Результаты расчета в графическом режиме представляются на экране монитора с последующей их архивацией в виде РСХ-файлов. Для графического режима доступны 18 параметров.

Первый опыт построения вероятностной модели выхода тайфуна на Дальний Восток в 1988 г. представлен в работе [137]. На основе построенных эллипсов вероятности ТЦ в зависимости от места его нахождения определяется вероятность выхода на тот или иной район.

Новая вероятностная статистическая модель выхода тропических циклонов на Японское море и Приморский край разработана в 1999 г. на основе результатов статистической обработки повторяемости нахождения их в 5 × 5° квадратах, а также использования элементов статистического анализа аналогичности процессов. Расчет повторяемости выполнен на автоматизированном программном комплексе моделирования и прогнозирования тропических циклонов и связанных с ними гидрометеорологических явлений (АРМ-2).

Сущность вероятностной модели заключается в нахождении для различных прогностических сроков прогнозируемого тропического циклона оценок возмож-

ного выхода тропического циклона на акваторию Японского моря и территорию Приморского края. В качестве оценок выступают вероятности выхода ТЦ на заданный район в зависимости от района зарождения, от местоположения циклона на момент прогноза, а также в зависимости от вида траектории ТЦ на предыстории от момента прогноза за 3–4 суток.

На Японское море и Приморский край с 1956 по 1997 г. вышло 149 тропических циклонов. Основная траектория выхода — параболическая с точкой поворота вблизи 30° с.ш. и 130° в.д. Вероятность выхода в зависимости от своего местоположения в конкретный момент времени увеличивается от 25% при нахождении циклона в центре Филиппинского моря до 60–70% при выходе в Восточно-Китайское море. Тропические циклоны, зародившиеся в Филиппинском море к востоку от Филиппинской гряды между $15\text{--}20^\circ$ с.ш. и $135\text{--}140^\circ$ в.д., имеют вероятность выхода на Японское море и Приморский край около 45–50%.

Факт выхода тропических циклонов, движущихся, в основном, по параболическим траекториям, знание всех предыдущих траекторий тропических циклонов, вышедших на Японское море и Приморский край, а также возможность отбора аналогичных траекторий с использованием мер различия позволяют определить вероятность выхода в зависимости от типа и вида траектории оперативного тропического циклона. За 100% принимается вероятность выхода, при котором в число лучших отобранных аналогов попадают все траектории ТЦ, ранее вышедших на Японское море и Приморский край. За 0% принимается вероятность выхода, при котором в число лучших отобранных аналогов не попало ни одной траектории ТЦ, ранее вышедших на Японское море и Приморский край.

Гидродинамическое моделирование. К этому направлению относятся баротропная модель перемещения ТЦ Ю. В. Казанцева (1985) [100, 138] и модель перемещения, разработанная 1987 г. в ГМЦ России И. Г. Ситниковым и В. А. Зленко [139–141], которые модифицированы и адаптированы В. П. Тунеголовцем [142].

Ю. В. Казанцевым были разработаны осесимметричная модель тропического циклона [110] и торообразная модель ТЦ [100]. Осесимметричная модель тропического циклона [110], состоящая из двух горизонтальных концентрических колец, вращающихся в горизонтальной плоскости, не противоречит основным законам аэродинамики. Показано, что для ТЦ нельзя использовать модель линейного вихря, так как в линейном вихре вместе с сохранением знака угловой скорости вращения будет сохраняться знак радиальной компоненты скорости воздуха. То есть, на всех уровнях линейного вихря, моделирующего тропический циклон, должен происходить вток воздуха, что явно находится в противоречии с действительностью. В отличие от линейного вихря торообразная модель ТЦ [100] удовлетворительно согласуется с результатами наблюдений [143].

Разработанная баротропная модель перемещения тропических циклонов состоит из пяти обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений, полученных из закона сохранения и изменения момента количества движения воздуха, входящего в состав ТЦ, путем интегрирования выражений для скорости изменения момента количества движения и для моментов внешних сил [100, 115, 119]. Интегрирование проведено с учетом переменности скоростей частиц, координатных ортов, сферичности Земли, проницаемости ТЦ для окружающего воздуха и силового взаимодействия ТЦ с окружающей поверхностью. В правые части уравнений,

описываемых динамическую модель перемещения ТЦ, входят проекции центробежной силы, гироскопической силы, силы Жуковского-Магнуса, силы Кориолиса, силы трения и силы давления.

Благодаря использованию трехмерных векторов моментов движения и сил относительного центра Земли, постоянная величина радиуса-вектора, равная радиусу Земли, позволила получить из трех уравнений моментов три уравнения второго закона Ньютона (использование бета-плоскости дает возможность получить лишь два уравнения движения), причем величина угловой скорости вращения ТЦ, оказывающая определяющее влияние на характер траектории ТЦ, получается из соответствующего дифференциального уравнения. Следует отметить, что использование момента количества движения позволило получить силы Кориолиса, центробежную и гироскопическую силы, минуя обычную процедуру получения правых частей уравнений движения путем приложения к данной точке напряженности всех известных сил, включая так называемые присоединенные массы.

В настоящее время с моделью ДВНИГМИ успешно работает сотрудник ОМТЦ М. Б. Моисеев. Им разработан новый программный комплекс, позволяющий организацию численных экспериментов по учету входящих в модель сил, а также испытание различных уровней поверхностей геопотенциала для организации и построения прогностических схем. Некоторые первые результаты моделирования представлены в [144]. На основе численных экспериментов по баротропной модели автором оценивается вклад различных сил, действующих на тропический циклон, и делается вывод о доминирующем влиянии силы трения о воздух ведущего потока.

Работа с баротропной моделью ГМЦ России в ДВНИГМИ проводилась В. П. Тунеголовцем [142]. Постановка задачи в баротропной модели перемещения ГМЦ России предполагает использование уравнений мелкой воды для прогноза крупномасштабных полей ветра и геопотенциала в Северном полушарии. Для прогноза траектории ТЦ применяется интегральный метод. При этом начальное поле ветра в ТЦ моделируется осесимметричным распределением, а поле геопотенциала в нем находится путем решения “реверсивного” уравнения баланса [140]. Основная задача при этом заключается в построении “модели” восстановления начальных полей давления (геопотенциала) и ветра вблизи ТЦ, таким образом, чтобы полученные модифицированные поля можно было бы использовать для ввода в схему численного прогноза траектории ТЦ в качестве начальной информации и следить за перемещением такого “полумодельного” центра.

В качестве начальных данных в модели ГМЦ РФ при интегрировании системы используются диагностические поля геопотенциала H_{500} , получаемые в кодах ГРИД от центров Реддинг, либо Вашингтон. Поле ветра в начальный момент берется геострофическим. Поля модифицируются в окрестности ТЦ при $t=0$.

Перед началом прогноза в точке с истинными координатами ТЦ формируется начальный вихрь. Для этого к имеющемуся полю ветра добавляется поле ветра идеализированного осесимметричного вихря, в котором на любом расстоянии от центра циклона ветер задается аналитически в зависимости от максимальной скорости ветра в ТЦ и радиуса, при котором скорость ветра максимальна.

Формул расчета ветра в ТЦ на любом заданном радиусе в зависимости от максимальной скорости ветра в

ТЦ и радиуса, при котором скорость ветра максимальна, достаточно много (например, формула В. В. Шулейкина [145]). Авторы модели в своей работе [140] приводят три формулы, а в самой прогностической модели используют еще одну. По последней формуле скорость зависит от произведения отношения радиуса, на котором скорость ветра определяется, к радиусу, при котором скорость ветра максимальна, на экспоненту того же отношения с обратным знаком. В прогностической схеме ГМЦ РФ максимальный ветер и радиус, при котором скорость ветра максимальна, заданы постоянными и равны 30 м/с и 250 км соответственно.

Таким образом, кроме других упомянутых в [140] авторами модели особенностей численного характера, точность расчета прогноза по модели ГМЦ РФ определяется точностью представления геопотенциала и восстановления ветра в окрестностях тропического циклона.

Именно в этом направлении и предприняты шаги по модернизации модели. В частности решены задачи [142]:

- включения в схему расчета диагностических полей геопотенциала H_{500} , получаемых в кодах ГРИБ от передающего центра Брекнелл (EGRR) — модель H, (вариант А);
- включения в схему расчета диагностических и прогностических с шагом 12 ч полей геопотенциала H_{500} , получаемых в кодах ГРИБ от передающего центра Брекнелл (EGRR) — модель H, (вариант В).

В оба варианта прогностических комплексов включены в качестве исходных данных истинные значения максимального ветра прогнозируемого ТЦ и радиуса, при котором скорость ветра максимальна.

В варианте А величины $V_{\max}$ и $r_{\max}$ остаются неизменными на периоде расчета (72 ч).

В варианте В значения $V_{\max}$ и $r_{\max}$ обновляются каждые 12 ч при введении нового поля геопотенциала. Путем организации численных экспериментов определены коэффициенты при $V_{\max}$ и $r_{\max}$ при их переносе на уровень H_{500} .

Перед введением нового поля геопотенциала в точке с истинными координатами ТЦ (на первом шаге) или в рассчитанных за предыдущие 12 ч прогностических координатах формируется по обновляемым значениям $V_{\max}$ и $r_{\max}$ начальный вихрь.

Адаптация гидродинамического способа прогноза перемещения тропических циклонов по схеме ГМЦ РФ [140] осуществлена в 1995 г. В. П. Тунеголовцем, Г. Г. Барановым, В. А. Дубиной [146] применительно к техническим возможностям Приморского УГМС и ДВНИГМИ. Исходной базой для построения схемы прогноза послужил комплекс программ в форматах ЕС ЭВМ, переданный в ДВНИГМИ в 1991 г.

Как следует из анализа, для гидродинамического способа прогноза перемещения тропических циклонов по схеме Гидрометеоцентра России с заблаговременностью до 3-х суток при заблаговременности 24 ч ошибки в прогнозе положения составляют 248 км, в прогнозе скорости перемещения — 168 км/сутки, в прогнозе направления — 18°, на 48 ч соответственно — 503 км, 141 км/сутки, 26°, на 72 ч — 835 км, 141 км/сутки, 28°.

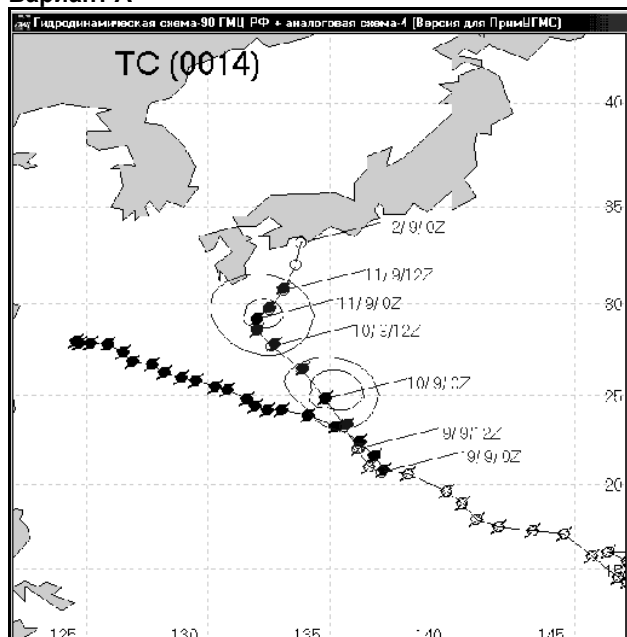
На рисунке приведены результаты расчета прогноза перемещения тропического циклона (0014) Saomai от 09 сентября 2000 г. по гидродинамической модели ГМЦ РФ и прогноз его интенсивности по аналоговой модели ДВНИГМИ (схема-4).

Опыт, полученный при испытаниях модернизированной модели, позволяет надеяться на ее успешное использование как в умеренных широтах (вариант А), так и в пределах тропической зоны (вариант В).

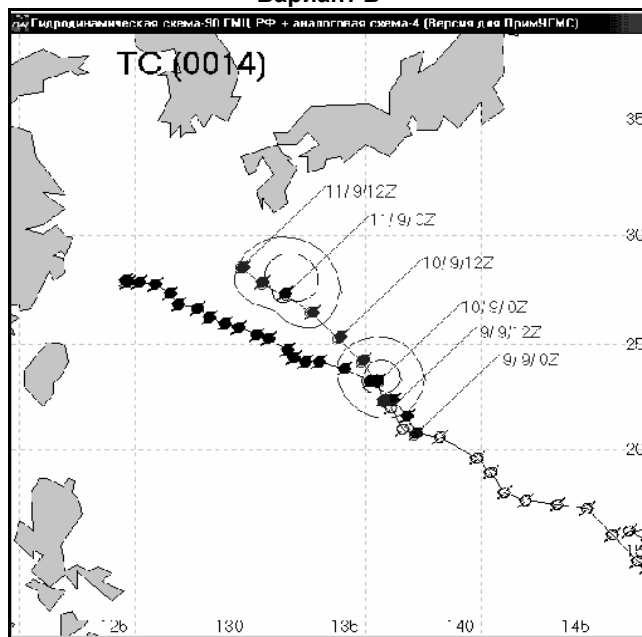
Автоматизированный прогностический комплекс ДВНИГМИ позволяет предоставлять пользователю прогноз с заблаговременностью до 3-х суток с дискретностью 6 ч такие элементы тропических циклонов, как:

- прогностические координаты положения;
- прогностические значения максимального ветра и минимального давления в ТЦ;

Вариант А



Вариант В



Прогноз перемещения тропического циклона (0014) Saomai от 09 сентября 2000 г. по гидродинамической модели ГМЦ РФ и прогноза интенсивности по аналоговой модели ДВНИГМИ (схема-4)

– прогностические значения радиусов зон сильных и ураганных ветров.

На принципах аналогичности траекторий тропических циклонов и аналогичности процессов, определяющих погодные условия в период воздействия, в графическом виде предоставляется информация по аналогам прогностической траектории:

– о выпавших по территории воздействия осадках для нескольких случаев прошедших ранее тропических циклонов (1956–1998 гг.);
– об интенсивности ветров в период воздействия (1956–1997 гг.);
– об ущербах в виде текста, зафиксированных в публикациях учреждений системы Росгидромета (1966–1989 гг.).

При наличии дополнительной информации о выпавших по территории воздействия осадках и об интенсивности ветров в период воздействия эта информация может быть занесена в соответствующие базы данных

Создание прогностических моделей

Работы в направлении создания прогностических моделей велись и ведутся с использованием регрессионного и дискриминантного анализа, поиска наибольшей аналогичности с привлечением статистических методов их оценки, а также эмпирического анализа.

С середины 80-х годов на основании опыта, накопленного отечественными и зарубежными исследователями, концепция разработки методов прогноза перемещения и эволюции тропических циклонов в ДВНИГМИ включала следующие положения.

1. В качестве аппарата математической статистики необходимо использовать пошаговую множественную регрессию, пошаговый множественный дискриминантный анализ, метод групповых аналогов.

2. Предикторы должны соответствовать следующим требованиям:

– быть доступны при оперативном использовании методов прогноза (наличие данных для их расчета и определения в Глобальной сети Всемирной службы погоды);

– новые виды и типы предикторов должны быть получены на основании выявления новых механизмов, отвечающих за эволюцию и перемещение тропических циклонов;

– отражать термодинамическое состояние окружающей тропический циклон атмосферы, состояние подстилающей поверхности, внутреннюю структуру тропических циклонов;

– иметь смысловую нагрузку и быть либо одной размерности, либо безразмерными, например, нормированные тем или иным способом параметры тропического циклона и атмосферы, параметры и критерии подобия (числа Россби, Рейнольдса и др.) [117, 131].

3. Построение прогностических зависимостей должно вестись на основе типизации тропических циклонов по их траекториям и интенсивности [120].

Основываясь на данной идеологии, в последующие годы было разработано и внедрено несколько схем прогноза перемещения и интенсивности тропических циклонов. Прогноз интенсивности, в частности, включает: минимальное давление в центре тропического циклона, максимальный ветер, размеры зон ураганных и сильных ветров.



**Сотрудники отдела: В. С. Кузин, М. Б. Мусеев,
Л. И. Евдокимова, В. П. Тунеголовец,
А. В. Ремез, Г. Г. Баранов**

Диагноз эволюции тропических циклонов. Для диагноза и прогноза изменений давления в центре тайфуна Н. И. Павловым [147] использовано уравнение вихря скорости. В результате анализа уравнения получено, что тайфун должен углубляться за счет наклона вертикальной оси, когда увеличивается вертикальный градиент горизонтальной составляющей скорости ветра. Эволюция тайфуна за счет меридионального градиента силы тяжести больше всего должна сказываться на широте 45° с.ш., т. е. в умеренных широтах. На экваторе влияние этого фактора равно нулю. После поворота тайфуна на обратную ветвь фактор изменения силы тяжести с широтой будет способствовать заполнению тайфуна. Углубление тайфуна должно происходить при восточном переносе и отрицательном меридиональном градиенте температуры воздуха (т.е. когда севернее центра тайфуна температура воздуха ниже, чем в его южной части). В случае, когда тайфун смещается с юга на север, углубление его должно происходить при адвекции холодного воздуха в тылу тайфуна. Автором также исследована связь между индивидуальными изменениями давления и температуры воздуха в центре тайфуна у поверхности земли и на уровнях 700, 500, 300 гПа. Адиабатическое приближение лучше всего выполняется для поверхности 300 гПа. Получена связь между давлением в центре тайфуна и параметром неустойчивости атмосферы в слое земля — 700 гПа.

В [148] Н. И. Павловым установлены связи направления движения тайфунов с ведущим потоком на различных участках траектории (до точки поворота, в районе точки поворота и после точки поворота тайфуна на обратную ветвь траектории) через 24, 48 и 72 часа от начального момента времени. Также исследуется зависимость скорости и направления перемещения тайфунов от изменения параметра Кориолиса с широтой.

Статистическая характеристика распределения траекторий тайфунов вдоль широтных кругов 25, 30, 35, 40° с.ш. дана в работе [149]. Н. И. Павловым рассматриваются вопросы, связанные с определением вероятности встречи одиночного корабля и группы кораблей с тайфуном при заданном прогнозе погоды.

В работе [150] Н. И. Павловым была сделана попытка установить связь осредненных воздушных потоков в слое 700–100 гПа и потоков лабильной энергии в слое 1000–500 гПа с перемещением тайфунов. Для более точного определения ведущего потока производилась “фильтрация” (искусственное удаление с карт погоды и карт барической топографии) тайфунов и небольших по размеру циклонов. Получено, что средние углы отклонения траектории тайфунов от направления изолиний лабильной энергии по абсолютной величине меньше всего для широт 25–30° с.ш. Траектории тайфунов на 48 ч вперед хуже согласуются с потоком лабильной энергии. Среднее поле лабильной энергии для пяти километрового слоя “управляет” движением тайфунов сравнительно хуже, чем среднее поле геопотенциала. В 41–48% случаев траектории тайфунов отклоняются от направления изолиний лабильной энергии на угол больше 40°. На первые и вторые сутки после выхода тайфунов на 20° с.ш. их центры чаще отклоняются вправо от изолиний лабильной энергии (63%), чем влево (37%). На третьи сутки, наоборот, тайфуны чаще отклоняются влево (54%) от изолиний лабильной энергии, чем вправо (46%). Сравнительно плохую связь между полем лабильной энергии и перемещением тайфунов автор объясняет тем, что энергия вычислялась для небольшого слоя атмосферы (1000–500 гПа).

В [151] им рассмотрены особенности траекторий перемещения тайфунов на Дальний Восток. Показано влияние изменения параметра Кориолиса с широтой (β -эффект) на отклонение траектории тайфуна влево от направления ведущего потока. Построены диаграммы рассеяния для альтернативного прогноза влияния (не влияния) тайфунов на погоду Приморского и Хабаровского краев. В качестве аргументов служат начальная интенсивность тайфуна и долгота пересечения начальным ведущим потоком 40° с.ш. (для Приморского края) и 43° с.ш. (для Хабаровского края).

В работе [152] Н. И. Павловым и Л. И. Евдокимовой исследуется связь зарождения тайфунов с формами циркуляции и типами синоптических процессов над Восточной Азией. В работе приводятся вероятности зарождения тайфунов при формах циркуляции по Г. Я. Вангенгейму (W — западная, С — меридиональная, Е — восточная), О. К. Ильинскому (З — западная, Ц — центральная, В — восточная, Ш — широтная), В. С. Калачиковой и Е. В. Николаевой (З — западная, В — восточная, С — северная, Ю — южная). Отмечен годовой ход вероятностей зарождения тайфунов при различных формах и типах циркуляции. Зарождение тайфунов чаще всего наблюдается при следующих синоптических процессах над Восточной Азией: W.Ш.З., С.Ш.З., Е.Ц.Ю., Е.Ш.З. Первая буква означает формы циркуляции по Г. Я. Вангенгейму, вторая — по А. К. Ильинскому, а третья — типы синоптических процессов по В. С. Калачиковой и Е. В. Николаевой. Для конкретных месяцев вероятности зарождения тайфунов для определенных типов синоптических процессов изменяются от 0.40–0.75. Для сентября такие вероятности имеют место при типах W.Ц.З., С.В.Ю., С.Ш.В., Е.С.С.; в августе — при W.В.С., С.С.С., Е.Ш.Ю.; в июле — при З.С.Ю., в июне — при С.С.Ю.

В работе Г. П. Курбаткина и его сотрудников [153] показано, что не весь неадиабатический приток тепла Q , который, с одной стороны, может быть определен как полный дифференциал от потенциальной температур, а с другой, является суммой радиационного, фазового и турбулентного притоков, а лишь его часть вносит

вклад в энергетику атмосферных флуктуаций. Этот вклад назван доступным источником (Q_a).

Анализ пространственно-временной изменчивости поля доступного источника (Q_a) на уровне 500 гПа в районе функционирования тропических циклонов, проведенный Л. И. Евдокимовой, Р. С. Фахрудиновым и М. М. Чумаковым [154], позволил авторам выявить характерные особенности его распределения в периоды зарождения, развития и заполнения ТЦ и на их основе сформулировать предварительные правила:

- если тропическое возмущение попадает в поле положительных значений Q_a (0.2–0.4 кал/сут.), то создаются благоприятные условия для развития его в тропическую депрессию;

- если на пути развивающейся тропической депрессии положительные значения доступного источника достигают 0.4–0.6 кал/сут., то следует ожидать развития ее до стадии TS с давлением в центре больше 990 гПа;

- если слева от развивающегося ТЦ значения в локальном максимуме Q_a изменяются от 0.6 до 1.0 кал/сут., то можно предположить, что ТЦ достигнет стадии STS с давлением в центре 975–980 гПа;

- если развивающийся ТЦ попадает в поле локального максимума Q_a интенсивностью 1.0–1.8 кал/сут., то создаются благоприятные условия для перехода ТЦ в стадию тайфуна. При этом давление в его центре может достигнуть 950–965 гПа;

- если ТЦ выходит в область отрицательных значений Q_a , а слева от него наблюдается локальный минимум интенсивности — 1.4–1.6 кал/сут., то следует ожидать заполнения ТЦ.

Прогноз зарождения тропических циклонов. Физико-статистический метод прогноза возникновения тропических циклонов на 1–3 суток на основе анализа распределения “вихря скорости” (авторы Ю. В. Казанцев, Л. И. Евдокимова [115]) предназначен для прогноза перехода облачного скопления в тропическую депрессию. Метод прогноза построен на гипотезе, что в моменты возникновения ТЦ в тропосфере существуют циклонические образования, в которых знак относительной завихренности меняется вблизи уровня 500 гПа (гипотеза существования торообразного вихря с областями втока и оттока воздуха). При максимальной высоте подъема влажного воздуха выше уровня смены знака меняется знак вихря скорости. Наличие вертикальной циркуляции воздуха является необходимым условием возникновения и существования ТЦ. С уменьшением значения вихря скорости в нижней тропосфере уменьшается высота уровня смены знака вихря, поэтому все циклонические участки на уровнях 750–900 гПа могут быть вихревой основой ТЦ. Исходной информацией для расчета являются данные о направлении и скорости ветра на уровнях 850 и 200 гПа, снятые с прогностических (на 24 ч) карт, передаваемых РМЦ Гуам.

Оправдываемость данного метода значительно выше инерционного. Общая оправдываемость физико-статистического метода прогноза на основе вихря скорости за трое суток составила 82%, за двое — 100% и за сутки — 96%. Оправдываемость инерционного метода равна 45%. Оправдываемость наличия явления за трое, двое и одни сутки соответственно составила 67%, 100% и 100%, в то время как инерционного — 30%. Оправдываемость отсутствия явления за трое суток до возникновения ТЦ равна 94%, за двое — 100% и за сутки — 94%, а инерционного — 82%. Оценка точности предложенного метода, соответственно, за трое, двое и одни сутки составила: 0.44, 1.0, 0.94.

В 1987 г. В. С. Кузиным [128] был предложен синоптический метод прогноза зарождения ТЦ на один — три суток над северо-западной частью Тихого океана. В разработанном методе прогноза учитываются: крупномасштабная циркуляция верхнетропосферных потоков как над северо-западной частью Тихого океана, так и над прилегающими к нему районами Азиатского континента и южного полушария; наличие начального тропического возмущения (НТВ) и связанных с ним облачных систем; дивергенция верхнетропосферных потоков над районом, окружающим НТВ; вертикальный и горизонтальный сдвиг ветра вблизи НТВ и т.д.

Суммарная общая оправдываемость прогноза составила 90%, оправдываемость наличия явления 78%, отсутствия явления 98%. При этом самая высокая оправдываемость прогноза наблюдалась в июне (общая оправдываемость — 97%, оправдываемость наличия явления — 88% и отсутствия явления — 100%). Критерий надежности в течение всего периода оперативного испытания среднесрочного синоптического прогноза в среднем колебался от 0.73 до 0.91, что говорит о хорошей надежности прогноза. Критерий точности колебался от 0.54 до 0.86. Минимальные значения наблюдались в июле, а максимальные в июне, что, по-видимому, связано с изменением устойчивости циркуляции в верхней тропосфере от июня к июлю.

При разработке физико-статистического метода зарождения ТЦ [155] В.С. Кузиным в качестве предикторов были использованы факторы, лежащие в основе синоптического метода прогноза зарождения тайфунов [128]. Нахождение дискриминантных функций осуществлялось путем выбора оптимальных многомерных функций двух классов (для зарождения и не зарождения тропических циклонов на 24, 48, 72 ч). Всего было рассмотрено 20 предикторов, учитывающих состояние начальных ТВ и его окружение за сутки, двое и трое до зарождения ТД.

Как показали авторские испытания физико-статистического способа прогноза зарождения ТЦ (июнь — август 1987 г.), общая оправдываемость 36 прогнозов на 24, 48, 72 ч составила, соответственно, 75%, 91%, 83%.

Прогноз эволюции тропических циклонов. Для прогноза эволюции тайфунов на 72 часа Н. И. Павловым, Г. И. Анжиной, А. А. Сабитовой [156] в качестве предсказателей использовались девять первых коэффициентов разложения поля давления у земли по нормированным ортогональным полиномам Чебышева. Весовые коэффициенты в уравнении регрессии определялись по данным выборки из 67 случаев. Получено, что наибольший вес в эволюции тайфунов имеет коэффициент разложения A_{02} , характеризующий наличие ложбин и гребней в поле давления. Проверка прогноза эволюции циклонов на 72 часа на зависимом материале показала, что средняя абсолютная ошибка прогноза давления в центре циклона около 10 гПа. Ошибка в прогнозе давления величиной 20 гПа и более составляет 7.5% всех прогнозов. Экстремальные ошибки прогноза давления в центре циклона достигали 27 гПа.

В работе [157] Н. И. Павловым рассматривается ряд статистических способов прогноза перемещения и эволюции тайфунов на 1–3 суток. В уравнениях регрессии в качестве предсказателей используются девять первых коэффициентов разложения поля геопотенциала H_{500} по нормированным ортогональным полиномам Чебышева, а также ряд динамических характеристик, определяющих особенности строения поля давления и геопотенциала в тайфуне: барический градиент на уровне

H_{700} над центром тайфуна, вертикальный градиент вихря скорости (лапласиана давления) относительно вертикальной оси тайфуна, лапласиан относительного геопотенциала H_{500}^{1000} над центром тайфуна, лапласиан приземного давления относительно центра тайфуна.

Результаты авторских испытаний позволили автору сделать следующие выводы:

- оправдываемость прогнозов эволюции тайфунов на 1–3 суток по уравнениям регрессии, где в качестве предсказателей используются коэффициенты разложения поля геопотенциала H_{500} , получилась неудовлетворительной;

- прогнозы эволюции тайфунов в стадии их заполнения, учитывая свойство симметрии изменения давления в центре тайфуна относительно момента его максимального развития, можно давать с удовлетворительной успешностью;

- наиболее эффективными для прогноза эволюции тайфунов на 1–3 суток оказались уравнения регрессии, в которых в качестве предсказателей были взяты динамические характеристики атмосферы.

Следует отметить, что в вышеупомянутых методах прогноза эволюции, разработанных под руководством Н. И. Павлова, ход процесса на предыстории не учитывался.

В. Д. Боханом [158] предложен альтернативный прогноз эволюции ТЦ на ранней стадии развития. Автором в результате композиционного анализа была выявлена система параметров атмосферы, определяющих направление эволюции ТЦ. Приведена схема для принятия решений при прогнозе эволюции ТЦ. Эта схема дает качественную картину эволюции ТЦ: разовьется та или иная депрессия в шторм, тот или иной шторм в тайфун; интенсивность ТЦ при этом не указывается.

Оценка альтернативного аналогового метода прогноза эволюции ТЦ проведена на примере тропического шторма Вал (8517), тайфуна Бренда (8520) и тайфуна Дот (8522). Прогноз считался оправдавшимся, если в течение 24 ч прогнозируемое событие имело место. Из 12 прогнозов о переходе ТЦ в следующую стадию или о сохранении ее, оправдалось 11. Таким образом, оправдываемость аналогового метода прогноза эволюции ТЦ составила 92%.

В статистическом методе прогноза интенсивности тайфунов, разработанном В. П. Тунеголовцем [133], входными данными для расчета предикторов являются координаты ТЦ, давление в центре, скорость перемещения, максимальный ветер, радиусы зон с ветрами 15 и 26 м/с, дата существования ТЦ. В соответствии с [131] определялись безразмерные параметры подобия и вычислялись различные их комбинации. Все предикторы приводились к соответствующему безразмерному времени с разбивкой на 0.02 полного жизненного цикла эволюции ТЦ. Предыстория учитывалась на периоде 0.12 полного жизненного цикла ТЦ (36 ч при периоде существования ТЦ 12 суток). Общее число уравнений — 36. Всего из использованных в расчетах 177 предикторов в уравнениях пошаговой множественной регрессии отобрано 33. Из них пять характеризуют положение тропического циклона, семь — давление в центре, пять — максимальный ветер, два — скорость перемещения, остальные — безразмерные критерии подобия или их комбинации. Из прогностических элементов в состав предикторов вошли координаты положения ТЦ на периоде заблаговременности. Оправдываемость статистического метода прогноза интенсивности на независимом материале колеблется от 56 до 87% для прогноза давления в центре и от 56 до 87% для прогноза макси-

мального ветра. Средняя абсолютная ошибка прогноза с заблаговременностью 24 ч для ветра составила 5.0 м/с, давления — 7.8 гПа; 48 ч — 6.2 м/с и 11.0 гПа, соответственно. Средние ошибки прогноза давления заблаговременностью 24 и 48 ч с помощью субъективного метода Международного центра по эксперименту (МЦЭ ТПОЭКСа) составляют 13.2 и 17.8 гПа [159].

В 1989 г. В. С. Кузиным разработан эмпирический способ прогноза эволюции тайфунов на 24, 48, и 72 ч на основе синоптического анализа [160]. На основании термодинамического районирования тропического циклогенеза над северо-западной частью Тихого океана с учетом синоптических моделей зарождения циклонов и их стадий развития получены эмпирические уравнения эволюции тайфунов для молодой стадии развития, для зрелой стадии, а также для эволюции тайфунов после точки поворота и выше 30° с.ш. Физический смысл эмпирического способа прогноза эволюции тайфунов состоит в уточнении тенденции развития за прошедшие сутки за счет вовлечения весовых безразмерных коэффициентов, учитывающих крупномасштабное окружение тайфунов, на последующие трое суток, используя прогностическую траекторию тайфунов. Оперативное испытание эмпирического способа прогноза эволюции тропического возмущения на независимом материале 1989-1990 гг. дали удовлетворительные результаты.

На базе [160] В. С. Кузиным был предложен синоптико-статистический способ прогноза эволюции тайфунов при выходе их в умеренные широты Дальнего Востока с заблаговременностью до трех суток на основе синоптического анализа [160]. Прогноз эволюции тайфунов по данному методу состоит в уточнении тенденции развития тайфунов за прошедшие сутки по эмпирическим уравнениям, использующим некоторые весовые безразмерные коэффициенты, учитывающие крупномасштабное окружение тайфунов на последующие трое суток (направление смещения ТЦ, диаметр облачного массива, горизонтальная дивергенция верхнетропосферных потоков, знак дивергенции, вертикальный сдвиг ветра, знак завихренности, температура воды, адвекция температуры на H_{500} , тенденция развития ТЦ за предыдущие сутки). Испытания данного метода производились на независимом материале сезона тайфунов 1993 г. Всего было составлено 10 прогнозов P_{min} на 24, 48 и 72 часа. Средняя ошибка P составила, соответственно 6, 10, 13 гПа, а V_{max} — 3, 5, 6 м/с. Средняя оправдываемость прогнозов максимальной скорости ветра в тайфун на 24, 48, 72 ч, соответственно равна 90%, 85%, 80%. Некоторую дополнительную информацию для синоптика-прогнозис-

та при принятии им окончательного решения дают спутниковые, самолетные и данные метеорологических радиолокаторов. Тем не менее, успешность прогнозов интенсивности синоптическими методами зависит от чисто субъективных факторов — таких как опытность, случайность и, наконец, интуиция синоптика-прогнозиста.

В. П. Тунеголовцем [135] проверена рабочая гипотеза о возможности разделения тропических циклонов на типы и подтипы на ранней стадии их развития с использованием метода линейного дискриминантного анализа данных о тропических циклонах северо-западной части Тихого океана за период с 1956 по 1996 гг.

Для реализации данной задачи было построено несколько наборов данных. В качестве параметров привлекались 26 характеристик тропического циклона, среди которых давление в центре ТЦ, максимальный ветер, размеры зон (радиусов) сильных и ураганных ветров, географические координаты, скорость перемещения и некоторые другие. Автором выявлены параметры атмосферы, определяющие дальнейшую эволюцию тропических циклонов. Показано, что с вероятностью 72–80% их можно разделить на типы и подтипы уже в момент их перехода от стадии тропической депрессии в стадию тропического шторма. Показана возможность определения с вероятностью 80% уже на ранней стадии развития попадания в разряды короткоживущих или долгоживущих тропических циклонов, а также с вероятностью 76%, разделения тропических циклонов на группы с зональными и параболическими траекториями. Наконец, с вероятностью 79% можно определить на ранней стадии развития тропического циклона переход его в последующем в разряд "слабых" (< 33 м/с) или "сильных" (> 36 м/с).

Прогноз перемещения тропических циклонов. Н. И. Павловым [161] (1971 г.) при построении синоптико-статистического метода прогноза перемещения тропического циклона с заблаговременностью 1–3 суток использовалась подвижная система координат, связанная с центром тайфуна. Уравнения регрессии строились отдельно для составляющих перемещения тайфунов по осям x и y . Ось x была направлена на север, а ось y — вдоль касательной к параллели на восток. В качестве предсказателей использовались составляющие градиента адвекции приземного давления и адвекции температуры воздуха у поверхности земли и на изобарических поверхностях H_{700} , H_{500} , H_{300} . Наиболее низкую оправдываемость имели прогнозы на 72 часа для широт севернее 20° с.ш. На все сроки прогнозы лучше всего оправдались для широт 10–20° с.ш. Автор

Средняя ошибка прогноза перемещения ТЦ (км)

Модель или метод	Заблаговременность прогноза (ч) и число случаев n				Период прогноза Годы
	24	n	48	n	
MFM [165]	207	76	337	60	1975–1984
NHC [165]	181	76	390	60	1975–1984
CLIPER [165]	196	76	468	60	1975–1984
SAMBAR [166]	192	76	472	60	1975–1984
NHC-73 [165]	189	76	385	60	1975–1984
Павлов Н.И. [164]	194	100	433	100	1975–1980

Примечание: MFM — модель с движущейся мелкой сеткой НМЦ США; NHC — оперативный синоптический прогноз НЦУ, США; CLIPER- инерционно-климатический прогноз; NHC-73 — статистическая модель НЦУ, использующая в качестве предикторов результаты численных прогнозов



*В один из дней рождения. В. С. Кузин,
Л. А. Тунеголовец, В. Д. Будаева,
Г. А. Романова*

объясняет это расположением точки поворота тайфунов, как правило, севернее 20° с.ш.. Оправдываемость прогноза перемещения на сутки получилась несколько хуже, чем на двое суток, что, по-видимому, связано с особенностями статистической схемы прогноза перемещения тайфунов. Таким образом, прогноз на двое суток, составленный по уравнениям регрессии, оказался лучше, чем гидродинамический прогноз ГМЦ РФ.

В работе [156] излагаются расчетные способы прогноза перемещения и эволюции циклонов для северной части Тихого океана на 1–3 суток с использованием метода множественной корреляции. В качестве предсказателей были взяты коэффициенты разложения метеорологических полей по нормированным ортогональным полиномам Чебышева. Испытано пять схем прогноза. В первых четырех схемах в качестве предсказателей были взяты соответственно девять первых коэффициентов разложения поля давления у земли, поле геопотенциала на уровне 500 гПа и полей температуры воздуха у земли и на уровне 500 гПа. В пятой схеме в качестве предикторов использовались четыре первых коэффициента разложения полей H_{500} и T_{500} . Наилучшие результаты получились по схеме, где в качестве предсказателей брались девять первых коэффициентов разложения поля давления у земли по нормированным ортогональным полиномам Чебышева. Относительная ошибка прогнозов Перемещения тайфунов на 24, 48, 72 часа уменьшалась с увеличением заблаговременности прогноза и составила 0.56, 0.44, 0.41, соответственно. Наиболее плохими предсказателями оказались коэффициенты разложения поля температуры у земли. Высотное поле температуры было более прогностически значимым.

В схеме прогноза перемещения тайфунов с заблаговременностью 1–3 суток [157] Н. И. Павловым взят метод множественной корреляции. Было использовано 3 схемы прогноза. В первых двух схемах в качестве предсказателей брались только девять первых коэффициентов разложения полей приземного давления H_0 и геопотенциала H_{500} по нормированным ортогональным полиномам Чебышева. В третьей схеме в качестве предикторов привлекались четыре первых коэффициента разложения полей H_0 и H_{500} . Результаты проверки показали:

- при использовании в качестве предикторов коэффициентов разложения поля давления у поверхности земли и поля геопотенциала на уровне 500 гПа наиболее прогностически значимыми были коэффициенты разложения геопотенциала на уровне 500 гПа;

- прогнозы перемещения тайфунов на 1–3 суток по всем схемам лучше всего оправдываются в тех случаях, когда центры тайфунов располагаются южнее 20° с. ш.

- при прогнозе перемещения тайфунов на 1–3 суток наилучшие результаты получаются при использовании в качестве предсказателей ведущего потока, термического поля H_{500}^{1000} и смещения тайфуна за прошлые сутки (инерционный фактор).

Для разработки метода прогноза перемещения тайфунов на сроки 1–6 суток Н. И. Павловым [162] использовалась теория точечных вихрей. Идеализируя тайфуны и субтропические антициклоны точечными вихрями, получены некоторые выводы относительно их центров. Рассматривается поведение системы двух вихрей одного и различных знаков, равных и различных размеров. На этой основе предлагается способ прогноза траектории тайфунов на 4–5 суток. Автором теоретически доказана дирижирующая роль субтропических антициклонов в перемещении тропических циклонов. Это справедливо не только для тропических широт, но и для умеренных. В высоких широтах в связи с увеличением радиуса тайфунов субтропические антициклоны могут “увлекаться” тайфунами и смещаться в одном и том же направлении, но с меньшей скоростью. По мнению Н. И. Павлова, для целей прогноза перемещения тайфунов необходимо учитывать не только взаимодействие вихрей, но и поступательное движение основного, “дирижирующего” вихря, т. е. субтропического антициклона или его гребня. Автор отмечает, что поскольку ведущий поток связан с антициклоном, то его будущее изменение будет целиком и полностью зависеть от динамики и эволюции антициклона. Так, смещение субтропического максимума на восток создаст благоприятные условия для выхода тайфуна в умеренные широты. По скорости перемещения антициклона на восток и скорости вращения тайфуна вокруг центра инерции, расположенного в центре антициклона, можно рассчитать



*В один из дней рождения. В. П. Тунеголовец,
Л. В. Павлюк, О. П. Ржавина*

траекторию тайфуна на несколько суток вперед. В условиях малоподвижного субтропического антициклона тайфун должен смещаться вокруг его центра по окружности. При учете поступательного смещения антициклона траектория тайфуна будет криволинейной. Характер кривизны траектории тайфуна будет зависеть от скорости перемещения антициклона. При смещении антициклона на север тайфун будет перемещаться строго на северо-запад или же кривизна траекторий тайфуна будет весьма небольшой. Смещение дирижирующего антициклона на запад может вызвать аномальное движение тайфуна на юго-запад. Относительная ошибка прогноза перемещения тайфуна, предложенного Н. И. Павловым [162], уменьшается с увеличением заблаговременности прогноза. При прогнозе перемещения тайфунов на 1–3 суток предлагаемый метод оказался лучше, чем статистический [156] и несколько хуже гидродинамического и синоптического методов (при прогнозе на 1–2 суток). Ранее получено [157, 161], что для прогноза перемещения тайфунов поле температуры, от которого зависит внутренняя энергия, является менее прогностически значимым, чем поле геопотенциала.

При разработке физико-статистического метода прогноза перемещения тайфунов на сроки 1–5 суток Н. И. Павловым и Г. С. Комыш [163] в качестве предикторов использованы параметры ведущего потока и инерции (прошлые перемещение тайфуна за 6, 12, 18 и 24 ч от исходного момента времени). Векторная ошибка прогноза перемещения тайфунов на 1–5 суток на зависимом материале, соответственно, составила 159, 351, 537, 604 и 647 км, на независимом материале — 279, 641, 845, 823, 747 км. В течение 1–3 сут наблюдается линейный рост ошибок прогноза перемещения тайфунов.

В 1979 г. Н. И. Павловым [164] был разработан способ прогноза перемещения тайфунов на 24–48 ч на основе использования уравнения вихря скорости с учетом дивергентного фактора. Показана роль β -эффекта в изменении не только зональной, но и меридиональной скорости перемещения ТЦ. По четырем полученным автором уравнениям было составлено 100 прогнозов перемещения тайфунов за 1975–1980 гг. Средние ошибки авторского прогноза перемещения ТЦ в сравнении с другими методами представлены в таблице.

Средняя векторная ошибка прогнозов на 24 и 48 ч составила 194 и 433 км. Успешность прогнозов перемещения тайфунов по методу Н. И. Павлова оказалась сравнимой с методами CLIPER и SANBAR [165, 166]. Гистограммы распределения числа ошибок прогноза перемещения ТЦ по широте и долготе немного различаются. Несколько лучше прогнозируется положение ТЦ по долготе, чем по широте. При прогнозе перемещения ТЦ на 24 ч наиболее успешными являются инерционно-климатологические методы [165, 166]. Для прогноза перемещения ТЦ на 48 ч лучшие результаты дает численная модель тайфуна с вложенными сетками.

В 1991–1995 гг. на основе метода адаптивного статистического прогнозирования с использованием групп аналогов, подробно изложенного в работах В. Г. Грузы, реализован аналоговый способ прогноза перемещения тропических циклонов северо-западной части Тихого океана (В. П. Тунеголовец, Г. Г. Баранов, В. А. Дубина [146]). Основой для разработки программного комплекса аналогового способа прогноза послужил комплекс программ ГРАН, переданный в ДВНИГМИ сотрудником ВНИИГМИ-МЦД А. В. Беспрозванных в реализованной

версии в состав набора данных за одно наблюдение за ТЦ входят кроме стандартных параметров (давление, ветер, географические координаты и др.) данные о зонах сильных ветров и ветров ураганной интенсивности, зональная и меридиональная скорости смещения, коэффициент давления, коэффициент трохoidalности, относительные и абсолютные угловые скорости на различных радиусах от центра ТЦ, относительные и абсолютные моменты количества движения тороидального вихря и вихря Рэнкина, радиус зоны максимальных ветров и некоторые другие безразмерные параметры и коэффициенты подобия. Всего за срок наблюдений число параметров, описывающих состояние ТЦ, составляет 41; в число отобранных входят от трех до пяти.

В проведенных экспериментах по модернизированному программному комплексу ГРАН для построения упрощенной схемы прогноза перемещения тропических циклонов северо-западной части Тихого океана с заблаговременностью до 3-х суток использовались параметры:

- географические координаты и зональные и меридиональные составляющие скорости перемещения ТЦ на предыстории 2.5 суток (10 сроков) в соответствии с календарным сроком прогностической ситуации и заблаговременностью;
- в качестве оценки меры различия между назначенной исходной реализацией и по историческому архиву предикторов использовалось нормированное среднее квадратическое расстояние;
- векторы мер различия для приведения к одной шкале изменений нормировались по среднему значению и стандарту;
- веса (значимость) отобранных параметров аналогии считались равными между собой и равными единице (все остальные равны 0.0);
- выборка аналогов не более семи ТЦ (от 1 до 7);

В последующем, в 1996–2003 гг. при сохранении общей идеологии метода ГРАН были построены новые более сложные версии моделей [142], которые позволяли:

- исключать на основе упрощенного синоптического анализа поля H_{500} в момент составления прогноза траектории прогнозируемого тропического циклона и отобранных аналогов те ТЦ из сформированной выборки, траектории которых абсолютно нереальны для данной синоптической ситуации (поле H_{500} строится по данным ГРИД из комплекса ЛАССО);
- по имеющимся в историческом архиве данным о координатах ТЦ аналогов на последующие сроки рассчитать прогностические координаты текущего ТЦ на срок до 3-х суток. Для этого координаты отобранных аналогов приводятся в точку прогнозируемого ТЦ на момент прогноза и осредняются по каждому из сроков.

Для статистического аналогового метода прогноза перемещения на основе применения аппарата групповых аналогов при заблаговременности 24 ч ошибки в прогнозе положения составляют 223 км, в прогнозе скорости перемещения — 154 км/сутки, в прогнозе направления — 19 градусов; на 48 ч — 545 км, 152 км/сутки, 23 градуса; на 72 ч — 803 км, 179 км/сутки, 20 град, соответственно.

В. С. Кузиным [167, 168] предложена схема прогноза выхода ТЦ на п-ов Корея, а также трехуровневая модель прогноза перемещения ТЦ на примере тайфуна Кит с использованием эмпирического способа прогноза эволюции тайфунов на 24, 48 и 72 ч [160]. Предварительные результаты проверки на независимом матери-

але показали, что средняя ошибка в прогнозе положения на 24, 48 и 72 ч составили 150, 300 и 450 км, соответственно.

Г. Г. Барановым в 2000 г. была создана компьютерная реализация этой модели. Испытания автоматизированного синоптического метода прогноза перемещения тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана за 1991–1999 г были проведены в ДВНИГМИ 2001 году. Результаты испытаний показали, что средние ошибки в прогнозе положения ТЦ не превышают 264 км на 24 ч, 550 км на 48 ч и 968 км на 72 ч.

В соответствии с допустимыми ошибками при прогнозах перемещения ТЦ, на все сроки заблаговременности до 48 ч включительно, данный метод (по величине ошибок в прогнозе положения ТЦ) оценен как “удовлетворительный”, а на все сроки заблаговременности до 72 ч оценен как “хороший”.

В 2002 г. Г. Г. Барановым были проведены испытания опытной оперативной версии прогноза перемещения ТЦ синоптическим методом. Информацией о координатах ТЦ на момент прогноза служили данные, передаваемые по каналам связи из РСМЦ Токио. Для непосредственных расчетов прогностических траекторий ТЦ использовались наборы полей в кодах ГРИБ центра Брекнелл из оперативной базы данных. Всего было осуществлено 127 прогнозов по 12 тропическим циклонам.

Ошибки в прогнозе положения ТЦ не превысили 200 км на 24 ч, 400 км на 48 ч и 700 км на 72 ч., ошибки в прогнозе скорости смещения ТЦ достигли 148 км в первые сутки, 142 км во вторые сутки и 165 км в третьи сутки прогноза. Прогнозируемые скорости смещения тропических циклонов оказались меньше наблюдаемых скоростей смещения. Величины углов между прогнозируемым направлением смещения ТЦ и истинным направлением на 1, 2 и 3 суток составили соответственно 18° , 19° и 21° .

Г. Г. Баранов указывает на возможные причины заниженных значений скорости смещения ТЦ, которые сводятся к следующему:

- отсутствие объективного критерия для определения точной границы области, которая подлежит сглаживанию с целью устранения искажений, вносимых в крупномасштабное барическое поле атмосферы барическим полем ТЦ. Сглаживание полей геопотенциала вне предполагаемой границы поля давления ТЦ ведёт к уменьшению градиентов поля геопотенциала, а, следовательно, и уменьшению величины геострофической скорости потока, рассчитываемой по этим градиентам;
- выбор поверхности H_{500} в качестве определяющей для расчёта скорости смещения ТЦ;
- возможное расхождение полей анализа центра Брекнелл с реальными значениями полей геопотенциала в момент прогноза.

Единые методы прогноза эволюции и перемещения тропических циклонов. Попытка учета хода процесса на предыстории произведена Н. И. Павловым в соавторстве с Г. С. Осадчей и А. А. Сабитовой [169] в физико-статистическом методе прогноза перемещения и эволюции ТЦ на 1–3 суток. В качестве предикторов использовались восемь первых коэффициентов разложения поля геопотенциала поверхности 500 гПа за исходный и предыдущий (сутки назад) моменты времени по нормированным ортогональным полиномам Чебышева. Оправдываемость прогнозов эволюции тайфунов получилась неудовлетворительной. Исходя из этого, делается вывод, что коэффициенты разложения поля H_{500} по полиномам Чебышева оказались значительно

меньше информативными, чем предикторы, выработанные синоптической практикой. В этой же работе была испытана еще одна схема прогноза эволюции тайфунов на 24 часа, в которой в качестве предикторов использовались значения H_{500} за два срока - исходный и предыдущий (за сутки до момента прогноза) в узлах девятиточечной сетки. Южная центральная точка совмещалась с центром тайфуна. Результаты оправдываемости прогнозов эволюции тайфунов получились на уровне удовлетворительных. На основании выше изложенного Н. И. Павловым сделан вывод, что статистические модели прогнозов, где параметрами являются только циркуляционные факторы и отсутствуют предикторы, характеризующие состояние подстилающей поверхности, не позволяют с достаточной точностью прогнозировать эволюцию тайфунов.

Для синоптического метода прогноза перемещения ТЦ [168] (автор В. С. Кузин) при заблаговременности 24 ч ошибки в прогнозе положения составляют 192 км, в прогнозе скорости перемещения — 118 км/сутки, в прогнозе направления — 14° , на 48 ч, соответственно — 313 км, 122 км/сутки, 11° и на 72 ч — 516 км, 128 км/сутки, 12° .

Испытания данного метода производились на независимом материале сезона тайфунов 1993 г. Всего было составлено 10 прогнозов P_{min} на 24, 48 и 72 часа. Средняя ошибка P_{min} составила соответственно 6, 10, 13 гПа, а V_{max} — 3, 5, 6 м/с. Средняя оправдываемость прогнозов максимальной скорости ветра в ТЦ на 24, 48, 72 ч соответственно равна 90%, 85%, 80%.

Новый статистический регрессионный способ прогноза перемещения тайфунов [170], давления в центре, максимального ветра и зон с сильными, ураганскими и максимальными ветрами создан на принципах ранее разработанного статистического метода прогноза интенсивности с заблаговременностью до 72 часов [133].

Исходной информацией для разработки метода послужили данные о параметрах тропических циклонов за период с 1970 по 1993 гг. Для каждого типа ТЦ и срока заблаговременности прогноза строились наборы данных, состоящие из предиктантов и предикторов (параметры ТЦ на момент прогноза и на предыстории до 1.5 суток, безразмерные коэффициенты динамического подобия, моменты импульса и др. Всего используется от 88 до 118 переменных в каждом из 48 наборов данных). Структура предикторов и их физическая интерпретация представлены в [131, 132].

Схема статистического способа предполагает использование дискриминантных функций для разделения ТЦ на типы на ранней стадии развития и последующий расчет прогностических параметров циклона для шести градаций заблаговременности от 12 до 72 ч по более, чем 200 уровням.

В версии автоматизированного метода прогноза использована схема, согласно которой требуется участие прогнозиста для определения типа траектории (зональная или параболическая) и уточнения продолжительности полного периода существования ТЦ при прохождении циклона южнее 25° с.ш. Определение типа траектории проводится по выведенным на экран монитора полям приземного давления и геопотенциала на H_{500} посредством упрощенного синоптического анализа циркуляционных процессов: учитываются характерные особенности барических полей — интенсивность антициклона и расположение его оси и гребня. Уточнение продолжительности полного периода существования ТЦ происходит на основании экспертной оценки предполагаемого периода “жизни” ТЦ. Практически во всех слу-

чаях прогноза определение продолжительности осуществляется автоматически.

Итогом прогноза является создание трех информативных наборов: непосредственно с результатами расчета; с ошибками расчетов, а также наборы в виде РСХ-слайдов с фактической и прогностической траекториями ТЦ. На последнюю нанесены ветры различной интенсивности в виде кольцевых зон с шагом 5 м/с. При прогнозе параметров ТЦ с заблаговременностью 24 ч ошибки расчета положений ТЦ составляют 191 км, скорости перемещения — 127 км/сутки, направления — 14°, 48 ч — 367 км, 126 км/сутки, 14°, соответственно; 60 ч — 417 км, 123 км/сутки, 11°, соответственно. При прогнозе минимального давления в центре ТЦ заблаговременностью 24 часа относительная ошибка расчета давления составляет 0.69, оправдываемость знака изменения 66.7%; с заблаговременностью 48 часов — 0.55 и 61.4% соответственно. При прогнозе максимальной скорости ветра с заблаговременностью 24 часа относительная ошибка расчета скорости ветра составляет 0.76, оправдываемость знака изменения 76.8%, оправдываемость прогноза ветра 88.9%; 48 ч — 0.55, 72.8%, 68.9% соответственно; 60 ч — 0.52, 68.0%, 66.7%, соответственно. Разработанные и усовершенствованные прогнозы перемещения ТЦ можно интерпретировать как хорошие, прогнозы показателей интенсивности — как удовлетворительные и хорошие. Наиболее успешными оказались прогнозы для открытых акваторий и при выходе циклонов в умеренные широты.

Следует отметить, что методами регрессии можно предсказать лишь "нормальные" изменения интенсивности. Статистические методы не эффективны в таких аномальных ситуациях, как необычно большая скорость углубления или затухания ТЦ.

В 1996–1998 гг. В. П. Тунеголовцем [171] разработаны две новые схемы аналогового метода прогноза, условно названные, соответственно, схема-3 и схема-4. В методе прогноза перемещения тропических циклонов, давления в центре и максимального ветра (аналоговая схема 3) в качестве исторического набора выступает набор с параметрами ТЦ за 1956–1999 гг., а интегральная мера близости определяется по координатам, составляющим скорости перемещения и давления. Как и в ранних версиях методов прогноза, прогноз основан на совмещении заранее заданного числа (обычно 5) аналогичных траекторий в центре прогнозируемого ТЦ и расчете среднего значения координат их центров в каждый прогностический срок до 72 часов включительно. В методе прогноза перемещения тропических циклонов, давления в центре, максимального ветра и зон с сильными, ураганскими и максимальными ветрами (аналоговая схема 4) в качестве исторического набора выступает набор с параметрами ТЦ за 1956–1999 гг., а интегральная мера близости определяется по одиннадцати параметрам. Кроме того, оценивается мера близости (различия) поля барической топографии на H_{500} в окружении оперативного ТЦ и полей в окружении тропических циклонов из выборки аналогов. Исходными данными являются исторический и оперативный архивы геопотенциала в кодах ГРИБ. Формирование категорического прогноза осуществляется с учетом значения меры близости полей геопотенциала и параметров каждого из аналогов тропического циклона.

В методе прогноза на основе аналоговой схемы 5 [171] В. П. Тунеголовцу удалось реализовать концепцию разделения акватории северо-западной части Тихого океана на северную и южную части и определить

наиболее оптимальные параметры для расчета мер близости для каждого предиктанта в зависимости от заблаговременности прогноза и участка траектории. Было проведено 50 экспериментов по 53 прогноза в каждом. Получено, что прогноз положения, скорости, направления, давления, ветра, зоны ураганных и сильных ветров ТЦ в новых схемах на 15–40% лучше, чем в аналоговой схеме 4 ДВНИГМИ. При этом оказалось, что наиболее успешные прогнозы положения тропического циклона по аналоговой схеме 5 характерны для южного участка траектории (к югу от 22° с.ш.). При заблаговременности 24 ч ошибки в прогнозе положения составляют 170 км, 48 ч — 236 км и 60 ч — 357 км, что намного лучше критериев точности по [172, 173].

Методы прогноза повторяемости тропических циклонов. В [174] Н. И. Павловым предложен статистический способ долгосрочного прогноза числа тайфунов за год и числа тайфунов, выходящих или оказывающих влияние на Приморский край. В качестве предсказателей использовались коэффициенты разложения в ряды Фурье временных рядов числа тайфунов за год (N) и среднегодовых чисел Вольфа (W). Для прогноза повторяемости тайфунов были отобраны только первые коэффициенты разложения, которые дают, как правило, наибольший вклад в аппроксимацию данных функций. Автор отмечает, что при уменьшении числа предсказателей с 10 до 5, коэффициенты корреляции уменьшились на 0.07–0.29. Для прогноза числа тайфунов за год несколькими лучшими предсказателями оказались коэффициенты разложения числа тайфунов за год, а для прогноза числа тайфунов, выходящих или оказывающих влияние на Приморский край — коэффициенты разложения чисел Вольфа.

Важной для районов Дальнего Востока представляется работа В. Ф. Ворониной [175], где приводятся результаты исследования статистической зависимости эволюции южных циклонов у земли от исходного давления в его центре, скорости движения циклона и от состояния подстилающей поверхности. За южные циклоны принимались все циклоны (и трансформирующиеся тайфуны), смещающиеся через район, ограниченный на западе Японскими островами, на востоке меридианом 160° в.д., на севере и юге параллелями 45 и 30° с.ш. Общий коэффициент корреляции составил 0.92. При исследовании характера эволюции южных циклонов был применен графический метод. В качестве предикторов использовались данные исходного давления в центре циклона P_0 и средняя величина горизонтальных градиентов температуры поверхности океана субарктической фронтальной зоны ΔT_w . Для определения изменения давления в центре — ΔP в качестве предсказателей были использованы скорости движения циклона и величина ΔT_w , характеризующая состояние поверхности океана в зоне Курошио. Для различных периодов теплоотдачи между океаном и атмосферой получены уравнения регрессии, построены номограммы. Оправдываемость прогноза эволюции южных циклонов по знаку составляет 96%.

В [176] Н. И. Павловым рассматривается статистический метод долгосрочного прогноза повторяемости тайфунов, оказывающих влияние на погоду Приморского края, о. Сахалин и Курильских островов. В качестве предсказателей использовались первые три коэффициента разложения по естественным ортогональным составляющим временных рядов среднегодовых чисел Вольфа и годового числа тайфунов. Оправдываемость прогноза числа тайфунов, оказывающих влияние на

погоду Приморского края, на независимом материале показала удовлетворительные результаты (78%).

В работе [177] Н. И. Павловым предложен способ долгосрочного прогноза числа тайфунов и месячного количества осадков (на примере г. Владивостока) методом аналогов. Автором получено что при прогнозе суммарного числа тайфунов, оказывающих влияние на погоду Приморского края, за июнь-июль — октябрь наибольшую успешность (86.6%, что выше оправдываемости климатологических прогнозов на 5.4%) имеет метод аналогов с предысторией три года. При прогнозе числа тайфунов за конкретный месяц лучшую оправдываемость по сравнению с климатологическим методом имеют прогнозы, составленные на август и сентябрь. Оправдываемость прогнозов месячных сумм осадков по г. Владивостоку методом аналогов на 8 % выше климатологических и на 14.2 % — случайных прогнозов.

Из представленного краткого обзора исследований тропических циклонов на Дальнем Востоке видно, что ученые ДВНИГМИ провели большую научно-исследовательскую работу и осуществили ряд интересных натурных экспериментов для познания природы тайфунов.

В период до 2001 г. были разработаны следующие методы прогноза интенсивности и перемещения тропических циклонов и элементов погоды тайфунного происхождения:

- альтернативный прогноз сильных осадков по территории Приморского края (авторы: Г. С. Моисеенко, В. П. Тунеголовец, 1992);
- альтернативный прогноз сильных осадков по территории Хабаровского края (авторы: Г. С. Моисеенко, В. П. Тунеголовец, 1992);
- статистический способ прогноза интенсивности и перемещения тропических циклонов с заблаговременностью до 3-х суток (автор: В. П. Тунеголовец, 1995);
- аналоговый способ прогноза перемещения тропических циклонов с заблаговременностью до 3-х суток (авторы: Г. Г. Баранов, В. А. Дубина, В. П. Тунеголовец, 1995);
- синоптико-статистический способ прогноза эволюции тропических циклонов при выходе их в умеренные широты (автор: В.С. Кузин, 1995);
- прогноз перемещения тропических циклонов северо-западной части Тихого океана по гидродинамической модели И. Г. Ситникова и В. А. Зленко (Росгидрометцентр), модификация: В. П. Тунеголовец, 1995).

По результатам оперативных испытаний, проведенных в 1996–1998 гг. в Приморском УГМС, все методы в той или иной мере рекомендованы для использования в оперативной практике. Основной недостаток методов прогноза тайфунов — недостаточный срок заблаговременности.

В 2002–2004 гг. перед сотрудниками отдела стояла задача разработать оперативные технологии прогнозирования тропических, южных циклонов и сопутствующих им явлений применительно для территории Дальнего Востока. Результатом выполнения работ в данном направлении явились:

- программный комплекс схемы аналогового прогноза южных циклонов (аналоги — поля атмосферы на предыстории), влияющих на Камчатскую область, (автор В. П. Тунеголовец);
- программный комплекс схемы аналогового прогноза тайфунов (аналоги — поля атмосферы на предыстории), влияющих на Камчатскую область, (автор В. П. Тунеголовец);

– автоматизированный субъективный (синоптический) метод прогноза перемещения тайфунов, влияющих на Камчатскую область (автор Г. Г. Баранов);

– математическая и численная модель тропического циклона, описывающая энергетические процессы в ТЦ с учетом энергии, поступающей как от Солнца и океана, так и механической энергии глобальной циркуляции атмосферы, вводимой ранее в оперативной практике, как "ведущий поток" (автор М. Б. Моисеев).

Проведена оценка комплекса опасных и неблагоприятных условий погоды и состояния моря в период тайфунной деятельности, включая оценку возможности разработки автоматизированного метода прогноза неблагоприятных погодных явлений с заблаговременностью 1–3 суток по территории Приморского края (исполнители: В. П. Тунеголовец, Л. И. Евдокимова).

Перспективы дальнейших исследований тропических и южных циклонов

Перспективы дальнейших исследований тропических циклонов в ДВНИГМИ отражены в работах [144, 178, 179]. Одно из основных направлений работ связано с развитием имеющихся методов прогноза на новой информационной основе.

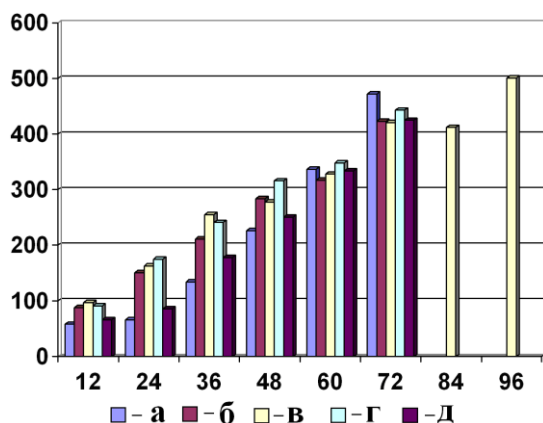
Одним из них является качественно новая информация, содержащаяся в архиве данных NCEP/NCAR Reanalysis CD-ROM, подготовленного в рамках реализации NCEP/NCAR Reanalysis Project, а также с привлечение цифровой информации ИСЗ, представленной в ежемесячных отчетах Японского метеорологического спутникового центра (1975–1999 гг.). Первый опыт использования в ДВНИГМИ спутниковой цифровой информации СВЧ-диапазона показал ее значительную перспективу [91, 92, 94–96].

Планируется также разработка методов прогноза стихийных гидрометеорологических явлений, включающих тропические циклоны в морях Дальнего Востока совместными усилиями ДВНИГМИ, ИАПУ и ТОИ ДВО РАН. Организация слежения за тропическими циклонами в морях Дальнего Востока будет вестись в Центре регионального спутникового мониторинга ИАПУ ДВО РАН. В Центре также будет обеспечена первичная обработка данных по отечественным и зарубежным технологиям и последующая передача восстановленных физических параметров океана и атмосферы в прогностические подразделения Росгидромета и МЧС РФ.

Для достижения основной цели за счет учета параметров тропического циклона при его выходе на сушу предполагается:

- продолжить модернизацию баротропной модели ДВНИГМИ и ГМЦ РФ путем введения информации о полях ветра на различных уровнях, восстановленного по информации об "облачном ветре";
- усовершенствовать автоматизированную схему синоптического метода прогноза ДВНИГМИ, перемещения ТЦ;
- создать для ДВ региона региональную прогностическую модель высокого разрешения перемещения тайфунов;
- усовершенствовать аналоговые схемы ДВНИГМИ перемещения и эволюции ТЦ и южных циклонов холодного периода.

На основе усовершенствованной аналоговой схемы в 2005 г. В. П. Тунеголовцем создан новый метод прогноза перемещения тропических циклонов, оказывающих влияние на Японское и Охотское моря. В качестве исходных данных используются диагностические и про-



Ошибки в прогнозе положения ТЦ (км) для различных периодов заблаговременности за период 2003–2005 гг. по методам ДВНИГМИ (а), Объединенного центра предупреждения о тайфунах США (б), Японского метеорологического агентства (в), Корейской метеорологической администрации (г) и комплексного метода ДВНИГМИ (д)

гностические поля атмосферы диагностические поля температуры поверхности океана за предшествующую календарную декаду месяца, параметры тропического циклона от момента зарождения до момента прогноза.

Проведенные расчеты показали, что наименьшие

ошибки прогноза перемещения тропических циклонов северо-западной части Тихого океана достигаются при: а) при различных комбинациях подбора полей атмосферы (2–4 поля); б) при привлечении полей атмосферы, как на диагнозе, так и на диагнозе и предьстории на сутки до момента прогноза, а также и на диагнозе и прогнозе атмосферных полей на сутки; в) при привлечении полей общего влагосодержания атмосферы в слое 300–1000 гПа. Учет в качестве предикторов диагностических полей температуры поверхности океана за предшествующую календарную декаду месяца для прогноза перемещения тропических циклонов в умеренных широтах существенного эффекта не дает.

Оперативная версия программного комплекса диагноза и прогноза перемещения тропических циклонов, создана на принципах адаптивной схемы. На базе прогнозов различных прогностических центров и метода ДВНИГМИ составлена комплексная схема прогноза перемещения тайфунов, в которой окончательный прогноз определяется как средневзвешенное между прогнозами различных центров и прогноза ДВНИГМИ.

На рисунке показаны ошибки в прогнозе положения ТЦ (км) для различных периодов заблаговременности по методу ДВНИГМИ, а также прогнозов от прогностических центров северо-западной части Тихого океана и результаты комплексной схемы прогноза.

Особо следует поднять вопрос еще об одной проблеме, а именно — о внетропических циклонах южной группы. Воздействие этих циклонов соизмеримо с воздействием тропических циклонов, а иногда и даже более.



Сотрудники ОМТЦ в 2005 г. Внизу: Г. Г. Баранов, Н. А. Щеплыкина, А. В. Ремез. Вверху: В. П. Тунеголовец, Л. В. Павлюк, О. П. Ржавина, М. В. Кочеткова, У. А. Чередниченко, Л. И. Евдокимова

Метод прогноза южных циклонов приведен в работе В.Ф. Ворониной [175], в последующем существенных успехов достигнуто не было.

А между тем, общее число южных циклонов только за период с 1966 по 1989 гг. составило 577. За этот же период на Японское и Охотское моря, Приморский край и Сахалинскую область вышло из тропической зоны 86 бывших тайфунов. То есть, из названного общего числа 663 южных циклонов тропические циклоны составляют только 13%. Максимальное число формирований южных циклонов за год составляет 41 (1966 г.), минимальное — 12 (1983 и 1988 гг.). В отличие от тропических циклонов, основной циклогенез южных циклонов приходится на осенне-зимний период. Глубина развития южных циклонов намного больше глубины развития тропических циклонов в периоды их существования в Японском и Охотском морях.

В настоящее время это направление планируется развить, используя аппарат математической статистики на базе набора данных ДВНИГМИ о параметрах внетропических циклонов южной группы за период 1966–1989 гг., а также данных в кодах ГРИБ NCEP/NCAR Reanalysis Project за тот же период. В отделе создан и пополняется набор данных о параметрах внетропических циклонов южной группы.

Решая эту задачу, в 2005 г. создан аналоговый метод перемещения и интенсивности южных циклонов заблаговременностью 48 ч (автор В. П. Туноголовец). В настоящее время метод находится на оперативных испытаниях в Приморскгидромете.

В заключении следует отметить, что в приведенном обзоре научных исследований роль ведущих специалистов в решение проблемы изучения и прогнозирования тайфунов достаточно полно отражена. Большой вклад в выполнении всех работ внесли также инженеры и техники отдела. Это научные сотрудники и инженеры, занимающиеся изучением, оперативным прогнозированием и лабораторным моделированием ТЦ: Г. А. Романова, Н. А. Щелыкина, И. А. Гурвич, И. П. Калинина, Л. А. Соболева, Е. Г. Омелюк, О. Ю. Пшенева, С. В. Суханов, В. М. Чернышова, Л. В. Павлюк, А. В. Ремез. Из технического состава можно выделить: Р. И. Вайсера, Г. М. Сахно, О. П. Ржавину, Н. В. Матиато, И. Н. Дворникову, Т. Г. Стародубцеву, Т. И. Смирнову.

Литература

1. **Архангельский В. А.** Пути и скорости перемещения циклонов и антициклонов в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке // Тр. ДВНИГМИ. 1956. Вып. 1. С. 97–113.
2. **Барабашкина А. П.** и **Лескова Е. А.** Исследование тайфунов, выходящих на Японское море и Приморский край // Тр. ДВНИГМИ. 1958. Вып. 3. С. 3–32.
3. **Николаева Е. В.** Климатическая характеристика тайфунов Дальнего Востока // Тр. ДВНИГМИ. 1975. Вып. 53. С. 3–11.
4. **Воронина В. Ф., Павлов Н. И.** Некоторые вопросы климатологии тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1977. Вып. 61. С. 113–127.
5. **Календов А. А.** К вопросу о прогнозировании точки поворота тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1981. Вып. 95. С. 31–37.
6. **Веретельник Е. В.** О перемещении тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана // Тр. ДВНИГМИ. 1981. Вып. 95. С. 117–124.
7. **Павлов Н. И.** О связи солнечной активности с повторяемостью тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1981. Вып. 95. С. 3–13.
8. **Воронина В. Ф., Куксова Н. И.** О зависимости формирования очагов зарождения тайфунов и повторяемости их выхода в умеренные широты в теплое полугодие от макромасштабных процессов в атмосфере в предшествующие периоды холодного полугодия // Тр. ДВНИГМИ. 1981. Вып. 95. С. 38–51.
9. **Николаева Е. В.** О способе прогноза примерных дат выхода тайфунов на Приморский край // Тр. ДВНИГМИ. 1984. Вып. 115. С. 28–33.
10. **Николаева Е. В.** Особенности синоптических процессов в тропосфере и нижней стратосфере при выходе тайфунов на Дальний Восток // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 118. С. 24–31.
11. **Павлов Н. И.** Локализация тайфунов различной интенсивности и климатология супертайфунов. // Тр. ДВНИГМИ. 1984. Вып. 115. С. 15–28.
12. **Павлов Н. И.** Локализация зон с различной интенсивностью углубления и заполнения тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 118. С. 31–46.
13. **Кузин В. С., Евдокимова Л. И., Павлов Н. И.** О влиянии тайфунов на выпадение осадков в Приморском крае - Материалы научной конференции по проблемам гидрологии рек БАМ и Дальнего Востока. 1986. Л.: Гидрометеиздат. С. 36–42.
14. **Туноголовец В. П., Федорей В. Г.** Параметры тропических циклонов, выходящих на Дальний Восток, и частота интенсивных осадков в Приморском крае // Международная конференция "Стихия. Строительство. Безопасность". Владивосток, Россия, 8–12 сентября 1997 г. Сборник тезисов докладов. Владивосток: ДВГТУ. 1997. С. 112–113.
15. **Верхолатов В. И.** Классификация основных типов ведущего потока при перемещении тропических циклонов по прямым параболическим траекториям // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 143. С. 125–130.
16. Атлас траекторий тайфунов за 1953–1968 гг. Отп. ФОЛ ПУГМС. Владивосток. 1968. 30 с.
17. **Анжина Г. И., Павлов Н. И.** Каталог тайфунов за 1953–1972 гг. Владивосток. 1974. 62 с.
18. **Евдокимова Л. И., Павлов Н. И.** Каталог тайфунов. Часть I. Климатология тайфунов северо-западной части Тихого океана. Владивосток. 1983. 414 с.
19. **Евдокимова Л. И., Павлов Н. И.** Каталог тайфунов. Часть II. Ежедневные данные о зарождении, эволюции и перемещении тайфунов в северо-западной части Тихого океана в 1958–1980 гг. Владивосток. 1983. 322 с.
20. **Лисогурский Н. И., Петричев А. З.** Каталог ураганов северо-восточной части Тихого океана (район 0–20° с.ш., 120–150° з.д.). Владивосток. 1985. 87 с.
21. **Павлов Н. И., Пашкова Е. Д., Т. И.** Каталог верхнетропосферных ложбин за период 1972–1981 гг. Владивосток. 1986. 151 с.
22. **Кузин В. С., Евдокимова Л. И.** Электронный каталог типовых синоптических полей, способствующих регенерации тропических циклонов. Вторая Региональная научно-практическая Конференция. Тезисы докладов. Владивосток. 2001. 58 с.
23. **Шарапов А. В.** К вопросу об эволюции тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1959. Вып. 7. С. 33–45.
24. **Кузин В. С., Евдокимова Л. И.** Типизация синоптических ситуаций, способствующих регенерации тропических циклонов над дальневосточным регионом России // Тр. ДВНИГМИ. 2001. Вып. 150. С. 75–86.
25. **Шарапов А. В., Пушистов П. Ю.** О некоторых особенностях и количественных характеристиках цир-

куляции атмосферы в экваториально-тропической зоне западной части Тихого океана в апреле-мае 1974 г. // Тр. ЗСРНИГМИ. 1970. Вып. 25. С. 47–61.

26. Павлов Н. И., Маковей Г. А. О связи траекторий тайфунов с атмосферной циркуляцией в умеренных широтах. // Тр. ДВНИГМИ. 1973. Вып. 38. С. 172–177.

27. Павлов Н. И. Связь траекторий тайфунов с атмосферной циркуляцией северного полушария // Тр. ДВНИГМИ. 1975. Вып. 51. С. 130–136.

28. Павлов Н. И. Синоптические условия перемещения тайфунов по “неправильным” и петлеобразным траекториям // Тр. ДВНИГМИ. 1975. Вып. 46. С. 171–174.

29. Павлов Н. И., Ткаченко В. Я. О циркуляции атмосферы в экваториальных и тропических широтах в южной части Тихого океана в зимний период (май-сентябрь) // Тр. ДВНИГМИ. 1975. Вып. 46. С. 108–122.

30. Павлов Н. И. О связи процессов в тропосфере и нижней стратосфере в тропической зоне северо-западной части Тихого океана. Тайфун-78. Л.: Гидрометеиздат. 1980. С. 122–131.

31. Павлов Н. И. О влиянии горной системы Филиппинского архипелага и о. Тайвань на эволюцию тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1981. Вып. 95. С. 12–22.

32. Павлов Н. И., Горчакова В. В., Евдокимова Л. И. О циркуляции воздуха и горизонтальном переносе влаги в западной части Тихого океана в период декабрь 1979 г. – январь 1980 г. // Тр. ДВНИГМИ. 1984. Вып. 115. С. 86–99.

33. Павлов Н. И. О длинных волнах над северным полушарием // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 118. С. 85–93.

34. Павлов Н. И., Шипунова Г. Н. О колебаниях изменчивости зональной циркуляции атмосферы // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 123. С. 54–68.

35. Павлов Н. И., Пашкова Е. Д., Шипунова Г. Н. О волновых колебаниях в тропической атмосфере и зарождении тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 143. С. 117–124.

36. Часова К. И. Характеристика тайфунов в летне-осенний период 1980 г. Результаты экспедиции КИСЗ-80. Ч. 1–2. Л.: Гидрометеиздат. 1981. С. 55–64.

37. Часова К. И., Стефановская С. П., Емельянова В. П. Тайфуны северо-западной части Тихого океана летом 1982. Результаты экспедиции КЭТИ-82. Л.: Гидрометеиздат. 1984. С. 201–211.

38. Часова К. И. К вопросу о возникновении тайфунов в марианском районе // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 123. С. 9–24.

39. Гордиенко А. И., Слепцов-Шевлевич Б. А., Кузин В. С. О временной изменчивости квазидвухлетних колебаний атмосферных процессов и их возможных причинах // Тр. ДВНИГМИ. 1981. Вып. 95. С. 99–108.

40. Гордиенко А. И., Кузин В. С. Оценка вклада квазидвухлетней цикличности в суммарную изменчивость некоторых гидрометеорологических характеристик // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 143. С. 96–102.

41. Гордиенко А. И., Кузин В. С. О расчете аномалий квазидвухлетнего цикла в колебаниях гидрометеорологических элементов // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 143. С. 103–109.

42. Веретельник Е. В., Горчакова В. В. Статистические характеристики задерживающих слоев в тропической зоне северо-западной части Тихого океана // Тр. ДВНИГМИ. 1981. Вып. 95. С. 89–98.

43. Горчакова В. В., Варнин В. М. Некоторые характеристики задерживающих слоев тропосферы летом и осенью в умеренных широтах северо-западной части Тихого океана по данным судовых наблюдений // Тр. ДВНИГМИ. 1984. Вып. 115. С. 100–108.

44. Верхолатов В. И. Туманы тропической зоны северо-западной части Тихого океана // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 143. С. 131–136.

45. Павлов Н. И., Акимов А. Е. Турбулентный тепло- и влагообмен океана с атмосферой в зоне формирования и развития тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1975. Вып. 46. С. 188–192.

46. Корниенко В. И., Бохан В. Д. Изменчивость турбулентных потоков тепла и влаги в северо-западной части Тихого океана // Тр. ДВНИГМИ. 1977. Вып. 61. С. 128–133.

47. Павлов Н. И., Синякова О. Д., Стефановская С. П. Турбулентные потоки тепла, влаги и тепловой баланс в западной части Тихого океана по данным экспедиций “Тайфун-78” и “Тайфун-80” // Тр. ДВНИГМИ. 1984. Вып. 115. С. 66–79.

48. Верхолатов В. И., Закаблукровский А. П. О потерях тепла поверхностью Японского моря в холодное полугодие // Тр. ДВНИГМИ. 1984. Вып. 115. С. 80–86.

49. Веретельник Е. В. Особенности распределения турбулентной теплоотдачи поверхности океана в передней и тыловой частях тропического циклона на разных стадиях его развития // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 118. С. 62–73.

50. Стефановская С. П., Комыш Г. С. Изменчивость турбулентных потоков тепла и влаги в северо-западной части Тихого океана в сентябре – декабре 1981 г. // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 118. С. 80–85.

51. Павлов Н. И., Синякова О. Д. О распределении турбулентных потоков тепла в тайфунах // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 123. С. 102–106.

52. Павлов Н. И. О связи интенсивности и характера перемещения тайфунов с термическим режимом поверхностного слоя океана. Тайфун-75. Т. 2. Л.: Гидрометеиздат. 1977. С. 14–22.

53. Тунеголовец В. П. К вопросу о связи тайфунов и запасов тепла в Филиппинском море // Тр. ДВНИГМИ. 1980. Вып. 80. С. 88–93.

54. Тунеголовец В. П. Характеристика распределения термического тайфунного потенциала океана в летние сезоны 1980 и 1982 гг. // Результаты экспедиции КЭТИ-82. Ч. II. Л.: Гидрометеиздат. 1983. С. 312–319.

55. Тунеголовец В. П., Покудов В. В. Вертикальная циркуляция вод после прохождения супертайфуна Винни (1980) // Метеорология и гидрология. 1983. № 7. С. 86–93.

56. Изотова В. В., Пластуненко Е. С., Тунеголовец В. П. Термический тайфунный потенциал океана и его роль в эволюции ТЦ // Тр. ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 132–139.

57. Закаблукровский А. П., Баранов Г. Г. Бюджет тепла Южно-Китайского моря в августе 1985 г. // Тр. ДВНИГМИ. 1988. Вып. 141. С. 46–51.

58. Дубина В. А. Особенности распределения термического тайфунного потенциала в Южно-Китайском море в период юго-западного муссона // Тр. ДВНИГМИ. 1988. Вып. 141. С. 84–88.

59. Павлов Н. И., В. В. Горчакова. Распределение энергии в тайфуне в различных стадиях развития. // Тр. ДВНИГМИ. 1971. Вып. 32. С. 149–159.

60. Павлов Н. И. Результаты исследований тайфунов научно-исследовательскими судами погоды ДВНИГМИ в 1970–1971 гг. // Тр. ДВНИГМИ. 1975. Вып. 46. С. 34–60.

61. Бельская Н. Н., Веселов Е. П., Павлов Н. И. Некоторые особенности вертикальной структуры одного мезомасштабного тропического циклона // Тайфун-75. Т. 2. Л.: Гидрометеиздат. С. 11–13.

62. Веселов Е. П., Бельская Н. И., Павлов Н. И. Вертикальная структура атмосферы в зоне деятельности тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1978. Вып. 73. С. 3–15.
63. Павлов Н. И. О влагосодержании тропосферы в зоне тайфунов. // Метеорология и гидрология. 1979. № 3. С. 57–61.
64. Павлов Н. И., Евдокимова Л. И., Стефановская С. П. Исследование влагосодержания в тропической зоне северо-западной части Тихого океана по данным аэрологического зондирования атмосферы в экспедиции "Тайфун-78" // Тр. ДВНИГМИ. 1981. Вып. 95. С. 70–81.
65. Верховатов В. И., Щеглов А. В. Структура полей ветра, температуры и влажности в тропическом шторме 8008 "Джой". Результаты экспедиции КИСЗ-80. Ч. 1-2. Л. Гидрометеиздат. 1981. С. 219–223.
66. Павлов Н. И., Евдокимова Л. И., Начинкин Ю. Д., Литвинова С. С. Содержание энергии и водяного пара в тропической зоне западной части Тихого океана в январе–феврале 1980 г. // Тр. ДВНИГМИ. 1982. Вып. 101. С. 11–25.
67. Павлов Н. И. О структуре атмосферы в зоне тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1982. Вып. 101. С. 33–43.
68. Евдокимова Л. И., Павлов Н. И., Стефановская С. П., Горчакова В. В., Веретельник Е. В. Особенности вертикальной структуры атмосферы в зонах зарождения тайфунов. Тропическая метеорология. Труды Международного симпозиума. Л.: Гидрометеиздат. 1982. С. 72–83.
69. Павлов Н. И. О вертикальной структуре периферии тайфунов по данным экспедиции "КИСЗ-80" // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 118. С. 46–61.
70. Евдокимова Л. И., Тунеголовцев В. П. Структура атмосферы вокруг развивающегося тропического возмущения // Труды ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 17–51.
71. Евдокимова Л. И. Основные принципы прогноза зарождения тропических циклонов // Тр. ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 51–71.
72. Бохан В. Д., Пластуненко Е. С. Характеристики условий конвекции в тропической зоне северо-западной части Тихого океана. Результаты экспедиции КЭТИ-82. Л.: Гидрометеиздат. 1984. С. 212–218.
73. Бохан В. Д. Об асимметричности распределения условий конвекции на периферии тайфунов. Результаты экспедиции КЭТИ-82. Л.: Гидрометеиздат. 1984. С. 218–223.
74. Евдокимова Л. И., Тунеголовцев В. П. Некоторые особенности параметров конвекции атмосферы в периоды зарождения и эволюции тропических циклонов // Тр. ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 22–35.
75. Бохан В. Д., Виприцкая А. К. Восточное тропосферное струйное течение в зоне деятельности тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1984. Вып. 115. С. 51–59.
76. Бохан В. Д. Структура тропической атмосферы на разных стадиях развития тайфуна. Третий международный симпозиум по тропической метеорологии. Тезисы докладов. Ялта. 1985. Обнинск. ФОП ВНИИГМИ-МЦД. 1985. 107 с.
77. Бохан В. Д. Об условиях перехода тропической депрессии в тропический шторм // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 123. С. 32–42.
78. Пластуненко Е. С., Тунеголовцев В. П. Восточное тропосферное струйное течение в тропической зоне Тихого океана в сезон тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 139–146.
79. Павлов Н. И., Акимов А. Е. К вопросу о возникновении тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1975. Вып. 51. С. 104–110.
80. Павлов Н. И. О связи возникновения тайфунов с общециркуляционными факторами. Тайфун 75. Т. 2. Л.: Гидрометеиздат. 1977. С. 29–45.
81. Павлов Н. И., Кузин В. С. Особенности циркуляции в тропосфере в процессе зарождения и в периоды, предшествующие их возникновению. Тайфун-78. Л.: Гидрометеиздат. 1980. С. 165–183.
82. Павлов Н. И. О связи параметров крупномасштабной циркуляции атмосферы с частотой зарождения и интенсивности тайфунов. Тропическая метеорология. // Труды Международного симпозиума. Л.: Гидрометеиздат. 1982. С. 49–58.
83. Кузин В. С., Павлов Н. И. О влиянии верхнетропосферных ложбин на зарождение тропических циклонов с начальным холодным ядром над северо-западной частью Тихого океана. // Труды Второго международного симпозиума по тропической метеорологии. Л.: Гидрометеиздат. 1985. С. 15–19.
84. Пудов В. Д., Тунеголовцев В. П. Горизонтальная термическая неоднородность верхнего слоя океана и ее возможная роль в зарождении тропических циклонов // Морской гидрофизический журнал. 1986. № 2. С. 26–31.
85. Бохан В. Д. Условия развития и структура тропического шторма Вал (14–18 сентября 1985 г.) // Тр. ДВНИГМИ. 1988. Вып. 141. С. 100–107.
86. Виприцкая А. К., Чернова З. И. К вопросу о причинах зарождения (незарождения) тропических циклонов над северо-западной частью Тихого океана в июле–сентябре 1988 г. // Тр. ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 3–21.
87. Виприцкая А. К. Некоторые результаты исследования влияния окружающего фонового потока максимального ветра в верхней тропосфере на эволюцию ТЦ на ранней стадии развития // Тр. ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 58–69.
88. Виприцкая А. К. О влиянии верхнетропосферных потоков на активность тропического циклогенеза летом 1990 г. // Тр. ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 70–86.
89. Шарапов И. А., Тунеголовцев В. П., Школьная О. Л. Некоторые особенности распределения энергетических характеристик атмосферы в периоды тропического циклогенеза северо-западной части Тихого океана // Тр. ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 46–57.
90. Павлов Н. И. К определению давления в центре тайфуна и скорости ветра по спутниковым данным об облачности // Тр. ДВНИГМИ. 1978. Вып. 73. С. 41–48.
91. Школьная О. Л. О возможности оценки потоков тепла и влаги над океаном с помощью СВЧ-радиометрических измерений // Тр. ДВНИГМИ. 1988. Вып. 141. С. 89–99.
92. Шарапов И. А., Тунеголовцев В. П., Школьная О. Л. Некоторые результаты исследования структуры тропических циклонов, полученные на основе использования данных измерительного комплекса TOVS ИСЗ NOAA // 5-й Международный симпозиум по тропической метеорологии. Обнинск. 26 мая — 2 июля 1991. Тезисы докладов. Обнинск. 1991.
93. Виприцкая А. К. О возможности использования информации с геостационарных ИСЗ для восстановления поля максимального ветра в верхней тропосфере // Тр. ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 95–104.
94. Шарапов И. А., Тунеголовцев В. П., Школьная О. Л. Оценка применимости СВЧ-измерений ИСЗ "Космос-1500 (1602)" для идентификации тропического циклогенеза // Труды ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 112–130.

95. Петрова В. Н. Исследование точности восстановления значений интегрального и послойного влагосодержания и температуры атмосферы по данным комплекса TOVS ИСЗ NOAA // Тр. ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 131–134.
96. Шарапов И. А., Тунеголовец В. П., Школьная О. Л. Некоторые результаты исследования параметров конвекции тропического циклона в северо-западной части Тихого океана на основе данных ИСЗ NOAA // Тр. ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 105–111.
97. Романова Г. А., Тунеголовец В. П. О причинах аномальности тропического циклогенеза в сезоны тайфунов 1998 и 1999 годов // Юбилейный вып. ДВНИГМИ. Владивосток. Дальнаука. 2000. С. 214–224.
98. Тунеголовец В. П. О следе тайфуна в тропической атмосфере по данным TOVS NOAA // Труды ДВНИГМИ. 2000. Вып. 148. С. 243–261.
99. Отчет по теме 4.5.1. “Развитие дистанционных методов и эффективное использование космической информации для изучения и мониторинга состояния дальневосточных морей и шельфовой зоны Тихого океана. Раздел ДВНИГМИ: Обеспечить сбор подспутниковой гидрометеорологической информации по району приема Центра регионального спутникового мониторинга для целей тестирования методов объективного анализа спутниковых данных о полях метеорологических элементов и оценки применимости малопараметрических моделей тайфуна для восполнения его поля ветра”. № госрегистрации 01.20.0011369. Владивосток. 2003. 55 с.
100. Казанцев Ю. В. Тороидальная вихревая модель тропического циклона // Тр. ДВНИГМИ. 1984. Вып. 115. С. 45–50.
101. Казанцев Ю. В. Обобщение уравнения Россби на случай несжимаемой жидкости // Тр. ДВНИГМИ. 1984. Вып. 115. С. 108–110.
102. Казанцев Ю. В. Численное моделирование влияния северотихоокеанского антициклона на траектории тропических циклонов // Метеорология и гидрология. 1984. № 10. С. 110–112.
103. Казанцев Ю. В., Микрукова Е. А. Результаты использования баротропной модели ДВНИГМИ для расчета перемещения тропических циклонов в основных районах их существования. Деп. в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД 16.10.85. № 440 ГМ-85.
104. Казанцев Ю. В., Микрукова Е. А. Расчет перемещения тропических циклонов по баротропной модели // Метеорология и гидрология. 1987. № 7. С. 113–116.
105. Harrison E. J. Initial results from Navy two-way interactive nested tropical cyclone model // Mon Weather Rev. 1981. Vol. 109. № 1.
106. Казанцев Ю. В. Об одной гипотезе циклогенеза // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 118. С. 93–100.
107. Казанцев Ю. В. О некоторых вопросах динамической метеорологии // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 18. С. 100–105.
108. Казанцев Ю. В. О влиянии вращения и сферичности земли на траекторию макровихря // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 118. С. 105–113.
109. Волков Ю. Н., Казанцев Ю. В. Математическое моделирование перемещения тропического циклона на сферической Земле // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 118. С. 113–119.
110. Казанцев Ю. В. Кинематическая модель стационарного тропического циклона // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 123. С. 43–49.
111. Казанцев Ю. В. Некоторые результаты численного моделирования траекторий тропических циклонов // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 123. С. 49–54.
112. Казанцев Ю. В. Об одной особенности атмосферных вихрей // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 123. С. 95–102.
113. Казанцев Ю. В., Тунеголовец В. П. Применение теории подобия для изучения эволюции тропических циклонов. Деп. в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД 16.10.85. № 440-ГМ.
114. Гарбер М. Р., Казанцев Ю. В. Приближенное аналитическое решение задачи конвекции в завихренной сжимаемой атмосфере с учетом вращения Земли. Деп. в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД 16.10.85 № 437-ГМ.
115. Казанцев Ю. В., Евдокимова Л. И. О возможности прогнозирования тропических циклонов на 1–2 суток на основе анализа распределения вихря скорости. Деп. ИЦ ВНИИГМИ-МЦД. 16.10.85. № 438-ГМ.
116. Казанцев Ю. В. Получение уравнений движения атмосферы путем выделения вихревой компоненты. Деп. в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД. 31.01.86. № 479-ГМ. 24 с.
117. Казанцев Ю. В., Тунеголовец В. П. Модель эволюции ТЦ на ранней стадии развития // Тр. ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 6–17.
118. Казанцев Ю. В., Евдокимова Л. И. Вихревая гипотеза возникновения тропических циклонов. Деп. в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД. 2.07.87. № 538-УМ, – 34 С.
119. Казанцев Ю. В. Проблемы аэродинамики атмосферы // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 116. 174 с.
120. Казанцев Ю. В., Тунеголовец В. П. Типизация тропических циклонов по характеру эволюции. Тропическая метеорология // Труды Четвертого Международного симпозиума по тропической метеорологии. Л.: Гидрометеиздат. 1989. С. 134–139.
121. Бобр В. А., Гармизе Л. Х., Калилец В. И., Солодухин А. Д., Павлов Н. И., Евдокимова Л. И. Лабораторная модель атмосферного вихря // Тр. ДВНИГМИ. 1984. Вып. 115. С. 3–15.
122. Бобр В. А., Евдокимова Л. И., Калилец В. И., Павлов Н. И., Соловьев А. А., Солодухин А. Д. Особенности развития крупномасштабных возмущений в вихревых течениях // Всесоюзный инженерно-технический журнал. 1984. Т. 47. № 3. С. 398–401.
123. Мартыненко О. Г., Павлов Н. И., Соловьев А. А., Солодухин А. Д., Федорей В. Г. Некоторые результаты лабораторных экспериментов применительно к задачам тропической метеорологии // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 143. С. 14–20.
124. Калилец В. И., Лишавский С. С., Солодухин А. Д., Соловьев А. А. Экспериментальное исследование свободного вихря в поле массовых сил и при асимметрии тангенциального втока // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 143. С. 29–35.
125. Лишавский С. С., Верхолатов В. И. Некоторые результаты лабораторного моделирования вихревых образований // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 143. С. 137–141.
126. Лисогурский Н. И., Мартыненко О. Г., Павлов Н. И. и др. Некоторые результаты лабораторного моделирования вихревых образований // Тр. ИЭМ. 1987. Вып. 42 (127). С. 64–70.
127. Кузин В. С. Синоптические модели зарождения тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана. Региональные вопросы синоптической метеорологии и гидрологии. ДВГУ Владивосток. 1988. Деп. в ИЦ ВНИИГМИ — МЦД. 02.09.88. № 820-ГМ 88. С. 106–109.

128. Кузин В. С. Синоптический метод прогноза тропических циклонов // Тр. ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 71–86.
129. Павлов Н. И. Модель перемещения тайфуна с учетом взаимодействия с окружающими крупномасштабными вихрями // Тр. ДВНИГМИ. 1977. Вып. 61. С. 12–19.
130. Павлов Н. И. Модель эволюции тайфуна // Тр. ДВНИГМИ. 1977. Вып. 61. С. 70–84.
131. Тунеголовец В. П. Модель эволюции ТЦ до и после достижения максимальной интенсивности // Тр. ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 104–122.
132. Тунеголовец В. П. Изменение момента количества движения в ТЦ // Тр. ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 122–132.
133. Тунеголовец В. П. Статистический метод прогноза интенсивности тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 146–179.
134. Тунеголовец В. П. Статистическая модель эволюции тропических циклонов на ранней стадии развития // Тр. ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 135–142.
135. Тунеголовец В. П. О возможности прогнозирования на ранней стадии развития тайфунов последующей их траектории и интенсивности // Тр. ДВНИГМИ. 1996. Вып. 148. С. 235–242.
136. Дубина В. А., Туноголовец В. П. Об изменении структуры тайфунов при выходе на районы локального прибрежного апвеллинга и гряды островов // Тр. ДВНИГМИ. Тематический вып. № 1. 1998. С. 28–38.
137. Туноголовец В. П., Дубина В. А. О вероятности выхода тайфуна на советский Дальний Восток // Тр. ДВНИГМИ. 1988. Вып. 141. С. 59–62.
138. Гарбер М. Р., Казанцев Ю. В. Приближенное аналитическое решение задачи конвекции в завихренной сжимаемой атмосфере с учетом вращения Земли. Деп. в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД. 16.10.85. № 437 -ГМ.
139. Зленко В. А. Гидродинамическая схема расчета траекторий тропических циклонов // Метеорология и гидрология. 1987. № 5. С. 56–61.
140. Ситников И. Г., Зленко В. А. Опыт численного прогноза траекторий тропических циклонов // Метеорология и гидрология. 1987. № 8. С. 40–47.
141. Ситников И. Г., Иванидзе Т. Г., Зленко В. А. и др. О результатах испытания численного метода прогноза траекторий тропических циклонов. – Информационный сборник ГМЦ СССР № 18. 1989. С. 3–13.
142. Туноголовец В. П. Основные результаты, перспективы и пути исследований тропических циклонов в Дальневосточном научно-исследовательском гидрометеорологическом институте // Тр. ДВНИГМИ. 1997. Вып. 147. С. 73–89.
143. Казанцев Ю. В. Элементы термомеханики атмосферы. Л.: Гидрометеиздат. 1990. 112 с.
144. Моисеев М. Б. Численные эксперименты прогноза перемещения тайфуна по баротропной модели ДВНИГМИ // Юбилейный вып. ДВНИГМИ. Владивосток. Дальнаука. 2000. С. 240–245.
145. Шулейкин В. В. Развитие тропического урагана при различных температурах поверхности воды в океане // Сб. “Тропическая зона Мирового океана и связанные с ней глобальные процессы”. 1973. С. 16–24.
146. Туноголовец В. П., Баранов Г. Г., Дубина В. А., Кузин В. С. Результаты разработки методов прогноза перемещения и эволюции тропических циклонов в ДВНИГМИ в 1991–1995 гг. // Научная конференция по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды. Тезисы докладов. Секция 1. М.: Росгидромет. 1996. С. 16–17.
147. Павлов Н. И. К вопросу об эволюции тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1973. Вып. 38. С. 189–196.
148. Павлов Н. И. О связи направления движения тайфунов с ведущим потоком // Тр. ДВНИГМИ. 1974. Вып. 41. С. 74–79.
149. Павлов Н. И. К определению вероятности встречи с тайфуном // Тр. ДВНИГМИ. 1974. Вып. 41. С. 119–127.
150. Павлов Н. И. Связь осредненных воздушных потоков лабильной энергии с перемещением тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1975. Вып. 46. С. 153–158.
151. Павлов Н. И. Особенности перемещения тайфунов на советский Дальний Восток. Тропическая метеорология // Труды Второго Международного симпозиума. Л.: Гидрометеиздат. 1985. С. 80–86.
152. Павлов Н. И., Евдокимова Л. И. О связи между зарождением тайфунов и формами циркуляции, типами синоптических процессов над Восточной Азией // Тр. ДВНИГМИ. 1985. Вып. 118. С. 13–24.
153. Курбаткин Г. П., Синяев В. Н., Янцен А. Г. Исследование процессов образования блокирующих антициклонов // Метеорология и гидрология. 1984. № 9. С. 5–9.
154. Евдокимова Л. И., Фахрутдинов Р. С., Чумаков М. М. Диагностическое исследование эволюции барических образований на основе применения полей доступного источника // Тр. ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 36–45.
155. Кузин В. С. Физико-статистический способ прогноза зарождения тайфунов на одни — трое суток // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 143. С. 142–147.
156. Павлов Н. И., Анжина Г. И., Сабитова А. А. Расчетные способы прогноза перемещения и эволюции циклонов для северной части Тихого океана на 24–72 часа // Тр. ДВНИГМИ. 1973. Вып. 38. С. 93–97.
157. Павлов Н. И. Статистические прогнозы перемещения и эволюции тайфунов на 1–3 суток // Тр. ДВНИГМИ. 1973. Вып. 38. С. 117–131.
158. Бохан В. Д. Альтернативный прогноз эволюции ТЦ на ранней стадии развития // Тр. ДВНИГМИ. 1973. Вып. 38. С. 86–101.
159. Hope J. R., Neumann C. J. An operational technique for relating the movement of existing tropical cyclones to past tracks // Mon. Wea. Rev. 1970. Vol. 98. № 12. P. 925–933.
160. Кузин И. С. Эмпирический способ прогноза зарождения и эволюции тайфунов на 24, 48 и 72 ч на основе синоптического анализа // Тр. ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 143–162.
161. Павлов Н. И. Синоптико-статистический метод прогноза перемещения тайфунов с заблаговременностью 1–3 суток // Тр. ДВНИГМИ. 1971. Вып. 32. С. 3–12.
162. Павлов Н. И. Применение теории точечных вихрей для прогноза перемещения тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1977. Вып. 63. С. 156–163.
163. Павлов Н. И., Комыш Г. С. Физико-статистический метод прогноза перемещения тайфунов на 1–5 суток // Тр. ДВНИГМИ. 1981. Вып. 95. С. 52–59.
164. Павлов Н. И. Способ прогноза перемещения тайфунов на 24–48 часов // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 143. С. 110–116.
165. Ситников И. Г. Прогнозирование тропических циклонов: современное состояние и перспективы // Метеорология и гидрология. 1987. № 2. С. 115–121.
166. Ситников И. Г., Петрова Л. И. Оперативный эксперимент по исследованию тайфунов — ТРОПЭКС // Гидрометеорология (серия 3721). Метеорология, обзорная информация. Обнинск. 1987. 34 с.

167. Кузин В. С. Основные принципы синоптического метода прогноза выхода тайфунов на п-ов Корея с заблаговременностью 1–3 сут. // Тр. ДВНИГМИ. 1993. Вып. 146. С. 163–172.

168. Кузин В. С. Зарождение, перемещение, эволюция тайфунов и их прогнозирование синоптико-статистическими методами: Дис. канд. геогр. наук. Владивосток. 1999. (рукопись)

169. Павлов Н. И., Осадчая Г. С., Сабитова А. А. Физико-статистический способ прогноза перемещения и эволюции тайфунов на 1–3 суток // Тр. ДВНИГМИ. 1975. Вып. 51. С. 29–39.

170. Тунеголовец В. П. Новый статистический регрессионный способ прогноза перемещения тропических циклонов, давления в центре, максимального ветра и зон с сильными, ураганскими и максимальными ветрами // Тр. ДВНИГМИ. Тематический вып. 1. 1998. С. 152–159.

171. Туноголовец В. П. Аналоговые схемы ДВНИГМИ для прогноза перемещения и интенсивности

тропических циклонов северо-западной части Тихого океана // Юбилейный вып. ДВНИГМИ. Владивосток. Дальнаука. 2000. С. 150–157.

172. Дополнение к наставлению по службе прогнозов. Раздел 2. Служба метеорологических прогнозов. Части III, IV, V. Терминология и оценка оправдываемости прогнозов на первые, вторые, пятые сутки и предупреждений об опасных стихийных гидрометеорологических явлениях и резких изменениях погоды. ГМЦ СССР. 1988. 25 с.

173. Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиографических прогнозов. РД 52.27. 284-91. Л.: Гидрометеиздат. 1991.

174. Павлов Н. И. Статистические способы долгосрочного прогноза повторяемости тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1975. Вып. 51. С. 154–160.

175. Воронина В. Ф. Прогноз эволюции южных циклонов над северо-западной частью Тихого океана // Тр.

ДВНИГМИ. 1975. Вып. 46. С. 123–131.

176. Павлов Н. И. Статистический метод долгосрочного прогноза повторяемости тайфунов, оказывающих влияние на погоду Приморского края, о. Сахалин и Курильских островов // Тр. ДВНИГМИ. 1978. Вып. 73. С. 56–62.

177. Павлов Н. И. Способ долгосрочного прогноза числа тайфунов и месячного количества осадков (на примере г. Владивостока) методом аналогов // Тр. ДВНИГМИ. 1981. Вып. 95. С. 60–69.

178. Тунеголовец В. П., Казанцев Ю. В., Федорей В. Г. Результаты и задачи изучения тайфунов Тихоокеанский ежегодник, 1988. Владивосток. Дальневосточное отделение АН СССР. 1988. С. 25 - 31.

179. Тунеголовец В. П. Прогноз и моделирование тропических циклонов северо-западной части Тихого океана в ДВНИГМИ // Юбилейный вып. Владивосток. Дальнаука. 2000. С. 137–150.