

МАТЕРИАЛЫ ИТОГОВОЙ СЕССИИ УЧЕНОГО СОВЕТА

27-28 января 2003 г.

**Часть I
Секции метеорологии и гидрологии**



**Санкт-Петербург
2003**

001

М

551.5(063)

556 (063)

Материалы итоговой сессии Ученого совета 27 – 28 января 2003 г.
Информационные материалы. Часть I. Секции метеорологии и гидро-
логии. – СПб.: изд. РГГМУ, 2003. – 120 с.

В сборнике представлены информационные материалы в виде тезисов,
аннотаций, обзорных докладов, в которых в краткой форме изложены
результаты научных исследований за 2002 г., полученные преподава-
телями, научными сотрудниками, аспирантами и студентами.

Ответственный редактор: проректор по НР В.Н. Воробьев

ISBN 5-86813-047-2

© Российский государственный
гидрометеорологический университет
(РГГМУ), 2003

258202

МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.465.634

*К. В. Кондратович, проф., Н. В. Герасимова, зав. лаб.
А. В. Бабкин, докторант*

ОЗОННЫЕ ДЫРЫ И СОВРЕМЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

С 1975 г. содержание стратосферного озона над Антарктидой в весенние месяцы стало заметно падать. В 1985 году было обнаружено явление сильного истощения озонного слоя над Антарктидой, проявившееся в том, что весной в течение шести недель ОСО уменьшилось более чем наполовину, а на высотах от 15 до 18 км озона почти не осталось. Этот феномен получил название «озонной дыры». Озонные «дыры» в Антарктике проявлялись в большей или меньшей степени практически каждый год. Отмечено, что их интенсивность (область распространения и продолжительность во времени) в среднем увеличивается. В середине 1980-х годов концентрация ОСО снизилась на 40 %, а размеры дыры достигли примерно площади США. В 1995 году площадь антарктической озонной «дыры» достигла рекордной за весь период наблюдений отметки – 22 млн. кв. км, и такое состояние озонного слоя сохранялось до конца весны. Каждой весной в течение 1986–1991 гг. ОСО над Антарктидой было в среднем на 30 – 40 % ниже, чем за период 1967–1971 гг., а в 1993 г. этот показатель снизился более чем на 60%. В 1987 и в 1994 гг. было зафиксировано рекордно низкое содержание озона почти в 4 раза меньше нормы.

В конце 1980 озонная дыра была зафиксирована и в высоких широтах Северного полушария. Тогда же появились еще слабовыраженные – со снижением концентрации озона на 1,5 – 2,5 % – дыры вблизи Северного полюса и южнее. Край одной из них зависал даже над Санкт-Петербургом. В январе ОСО над скандинавскими странами и северо-западными районами России бывает обычно на 20 – 25 % ниже, чем над Северо-Восточной Сибирью и Камчаткой. В январе 1995 г. снижение ОСО на 15 – 20 % было зарегистрировано над Западно-Сибирской равниной и Среднесибирским плоско-

Российский государственный
гидрометеорологический
институт

БИБЛИОТЕКА

195196, СПб, Малоохтинский пр., 98

горьем, в то время как над северо-западными районами России ОСО было ниже нормы на 10–15 %. С конца марта до середины мая 1997 г. отмечалось аномально низкое – на 30 % меньше обычного – содержание озона над Арктикой и значительной частью Восточной Сибири. Диаметр этой «озоновой дыры» составил около 3000 км. В 70 – 80 гг. снижение концентрации озона над территорией России происходило лишь эпизодически. Но со второй половины 90-х гг. «озоновые дыры» в зимнее время стали наблюдаться над обширными районами России уже регулярно.

Исследуя концентрацию озона в земной атмосфере, ученые обратили внимание на снижение в начале 80-х гг. общего содержания стратосферного озона (ОСО). Низкие температуры, активизирующие химические процессы, которые в присутствии солнечного света способствуют быстрому истощению озона, ежегодно ведут к «озоновой дыре». Температуры должны быть достаточно низкими, чтобы начали формироваться химические условия, приводящие к образованию полярных стратосферных облаков (PSCs). Пороговые температуры – 78 °C могут производить PSCs, в то время как более низкие температуры (ниже –85 °C) могут далее ускорять химическую обработку. Этому способствует циркумполярный вихрь. Такого же типа полярный стратосферный вихрь формируется зимой и над Арктикой. Однако, арктический полярный вихрь менее устойчив, и воздух в стратосфере над Арктикой охлаждается в меньшей степени, чем над Антарктидой. Поэтому эффект весенней «дыры» над северной полярной областью проявляется не так явно. К числу озоноразрушающих веществ, или ОРВ, в первую очередь относятся хлорфторуглероды (ХФУ, ХФУ-11, ХФУ-12) и бромхлорфторуглероды, называемые галонами. Под действием солнечных лучей синтетические галоидированные углеводороды разлагаются с выделением атомарного хлора и брома, разрушающих озоновый слой. Стратосферный озон оказывает охлаждающее действие на термику приземных слоев воздуха, т.к. задерживает часть коротковолнового излучения Солнца. Именно озон защищает биосферу от губительного жесткого УФ-излучения. Эволюция озоносферы и явление «озонных дыр» имеет отношение к развитию синоптических процессов, к состоянию климатической системы. Возможно, это один из механизмов воздействия на климат солнечной активности.

Эпохи похолодания при вековом ослаблении солнечной активности – период Маундерса (1645 – 1715 гг.) и Шперера (1400 – 1510 гг.) и потепление (1000 – 1200 гг.) – при высоком уровне активности Солнца не являются случайными совпадениями. По мнению известного астронома Д. А. Эди после вюрмского оледенения имели место 17 эпизодов потепления и похолодания, совпадающих с периодами ослабления и усиления активности Солнца.

УДК [551.46+551.5+556]:355:681.31

*В. И. Акселевич, доц., В. А. Драбенко, преп.,
В. В. Курушев, соискатель*

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И РАБОЧИХ СТАНЦИЙ В ВОЕННОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Проблема использования вычислительной техники военными гидрометеорологами возникла в последнее десятилетие и тесно связана с поистине революционными изменениями в технологии сбора и распространения метеоинформации. Фактически компьютер стал основным средством получения метеорологической информации в метеоподразделениях. Причем, чем выше уровень подразделения, тем больше задач решается с помощью компьютера и тем большую часть времени оперативный дежурный занят с компьютером или продуктами его деятельности.

Среди нерешенных проблем отсутствие руководящих документов и утвержденных методических и учебных пособий по работе на ЭВМ в метеоподразделениях различного ранга, неучет изменения ситуации с точки зрения охраны труда и санитарно-гигиенических правил, отсутствие компьютерной техники и комплектующих, а также расходных материалов в отчет-заявках и централизованных долгосрочных планах поставки, типовых табелях и штатах метеоподразделений, отсутствие единых подходов к деятельности должностных лиц, официально утвержденных программ, трафаретов и алгоритмов, учебников и учебных планов, требований к специалистам в отношении работы с вычислительной техникой. И это далеко не полный перечень задач, требующих решения. Жизненно необходимо обобщить направления использования вычислительной техники в военной гидрометео-

рологии и выработать общие принципы ее применения, сформулировать требования к программному и алгоритмическому обеспечению решения метеорологических задач, классифицировать и ранжировать методы прогноза метеовеличин и явлений погоды, разработать методологические основы использования вычислительной техники в условиях автономного функционирования метеоподразделения.

Цель исследования заключается в обобщении и уяснении основных направлений применения вычислительной техники в военной гидрометеорологии, выработке основных принципов использования современных информационных технологий при организации гидрометеорологического обеспечения войск и формулировании требований к вычислительной технике и программно-алгоритмическому обеспечению для нужд военной гидрометеорологии.

В докладе приводятся типы работ, выполняемых с использованием современных интеллектуальных технологий в метеорологии и военном деле. К ним относятся отображение фактической погоды, прогноз погоды различной заблаговременности, различные виды раскодирования и закодирования, прием и обработка спутниковой информации, сбор и распространение метеоинформации, работа с базами данных: для климатологической обработки данных наблюдений, выполнение специальных графических построений (азрологическая диаграмма, вертикальный графический разрез и прогноз и т.п.), расчетные методы прогноза погоды, обучение и контроль знаний соответствующих категорий специалистов, внедрение автоматической передачи данных о состоянии атмосферы от датчиков.

УДК 551.510

О. Г. Богаткин, доц.

ПОБЕДИТЬ ОЗОНОВУЮ ДЫРУ ПОМОЖЕТ ... СПОНСОР

Пожалуй, в мире нет ни одного человека, имеющего дома телевизор или радиоприемник, который не слышал бы ни разу про озоновую дыру. Об этом говорят журналисты, говорят и спорят ученые, говорят и пугаются обыватели. Давайте попробуем вместе разобраться, что же это такое «озоновая дыра».

Озон является составной частью атмосферного воздуха. Состоит молекула озона из трех атомов кислорода (O_3). И вот эта «добавка» к

обычной молекуле кислорода (O_2) делает озон бесцветным (в малых концентрациях голубоватым) газом с резким специфическим запахом. Озон является сильнейшим окислителем (попросту ядом), который был бы очень опасен людям, если бы содержание озона у земли превышало допустимые для человека нормы. Как говорится, слава Богу, что озона у земли мало.

В атмосфере его всего $1,0 - 10^{-6} \%$ от объема сухого воздуха. Если вся атмосфера Земли весит столько же, сколько весит медный шар диаметром 10 км, то медный «шарик» с весом озона имеет диаметр не более 25 м. Интересная особенность озона заключается в том, что он, в отличие от других газов, входящих в состав атмосферного воздуха, неравномерно распределен в атмосфере. Чаще всего озон наблюдается на высотах от 10 до 50 км, а максимум его содержания приходится на высоты 20 – 25 км. Вторая и самая важная особенность озона заключается в том, что озон поглощает биологически опасное ультрафиолетовое излучение Солнца и этим самым обеспечивает всю жизнь на Земле: и растений, и животных, и человека. Не зря, оказывается, говорят, что мал золотник, да дорог.

Общее содержание озона в атмосфере выражают так называемой приведенной толщиной, которая получится, если весь озон, находящийся в атмосфере, «собрать вместе», привести к давлению 760 мм. рт. ст. и температуре $0^\circ C$. Эта приведенная толщина в среднем равна 3 мм, а ее крайние значения колеблются в пределах от 1,5 до 4,5 мм. Если над каким-нибудь районом земного шара общее содержание озона меньше 1,0 мм, то это уже «дыра».

Чем же опасны озоновые дыры для человечества? Озон защищает Землю от разрушительной ультрафиолетовой солнечной радиации. Разрушение озонового слоя позволит большему количеству этой радиации достигнуть поверхности Земли. Каждый «потерянный» процент содержания озона в атмосфере приводит к увеличению интенсивности воздействия ультрафиолетовой солнечной радиации (к увеличению потока ультрафиолетовой радиации у земли) на 1,5 – 2,0 процента. Для человека увеличение интенсивности ультрафиолетового излучения прежде всего опасно воздействием солнечной радиации на кожу и глаза. Увеличение интенсивности солнечного излучения у земли, которое дошло до поверхности из-за малого содержания озона, приводит к преждевременному старению кожи, к увеличению числа раковых заболеваний кожи, а также к поражению животных и растений.

Общее содержание озона ученые научились измерять уже давно, а вот с озоновой дырой встретились сравнительно недавно. Первое упоминание об этом явлении в прессе и научных журналах относится к 1985 году. Сначала озоновую дыру обнаружили над Антарктидой, потом в Арктике, потом над Европой.

Рамки одной статьи не позволяют рассказать обо всех спорах и дискуссиях, которые ведут ученые всего мира по поводу причин образования озоновых дыр. Одни говорят, что возникновение озоновых дыр является естественным колебанием содержания озона в атмосфере, другие во всем хотят винить человека и его «озоноразрушающую» деятельность, третьи говорят, что естественные выбросы в атмосферу озоноразрушающих веществ на порядок больше того, что в атмосферу выбрасывает человек. Не будем сейчас становиться на чью-либо сторону. Каждая гипотеза имеет право на существование. Но, (что верно, то верно), иногда общее содержание озона в некоторых районах уменьшается до критического значения. А это значит, что люди, проживающие или находящиеся в этом районе, получают больше опасного коротковолнового ультрафиолета, с которым «не справился» тонкий озоновый слой.

Пока ученые спорят о причинах возникновения озоновых дыр, политики, ученые и экономисты договариваются об ограничении вредных выбросов в атмосферу, население получает дополнительный и вредный ультрафиолет. Пожалуй, ждать милости от природы в этом случае нам не приходится. С этой проблемой нужно как-то бороться своими силами. Мы попробовали сделать простые и не очень теоретические расчеты своих идей. И вот, что у нас получилось, если всю теорию и формулы оставить за пределами статьи.

Известно, что разные материалы по-разному поглощают радиацию. Это относится и к ультрафиолетовому излучению. Так, например, обычная одежда (материя) задерживает около 5 % ультрафиолетового излучения, алюминиевая фольга – около 20 – 25 %, а кровельное железо – около 40 – 50 %. Следовательно, от той части радиации, с которой не справился озоновый слой из-за своей «тонизны» (озоновая дыра), человек может отгородиться каким-нибудь материалом. Обычная одежда на человеке практически всегда есть, не считая отдыхающих на пляже. Это значит, что одетый человек получит опасной ультрафиолетовой радиации на 5 % меньше, чем этой радиации дойдет до земной поверхности. Заворачиваться в кровельное железо, по-

жалуй, не стоит — тяжело ходить. А вот об алюминиевой фольге можно подумать.

В настоящее время в промышленно развитых странах мира, в том числе и в России, существует освоенное технологическое производство, позволяющее наносить на любую ткань тонкий слой алюминия методом напыления. Это не совсем фольга, однако, такой слой оказывается достаточно прочным.

Если организовать промышленное производство двухслойной материи и на одну сторону ткани методом напыления наносить слой алюминия то, используя такую ткань, можно уменьшить воздействие ультрафиолетового излучения на человека примерно на 15 — 20 %. Из такой ткани целесообразно изготавливать зонты, тенты, палатки, модные шляпки, наконеч, и куртки. Для разработки различных товаров необходимо будет привлечь специалистов по дизайну и модельеров, а также провести достаточно широкую рекламную кампанию.

Предлагаемые изделия понадобятся в доме, коттедже, на веранде, на улице и на пляже. Они будут незаменимы и при работе на открытом воздухе, в горах, на стадионах, в военном деле, в МЧС и т.д. Ну а жителям определенного региона останется только прослушать или прочитать на сайте прогноз толщины озонового слоя и выбрать для себя соответствующую одежду. Ведь одежду можно спроектировать так, что ее можно будет носить и на правую, и на левую стороны. В любом случае такая одежда будет задерживать ультрафиолет, а правая сторона, предположим, будет отражать тепло, поступающее от солнца. Тогда левая сторона (куртка, надетая на левую сторону), наоборот, задержит человеческое тепло и не даст человеку переохладиться.

Как нам кажется, такой проект позволит победить озоновую дыру. Этот проект достаточно дорогой, так как потребуются значительные средства на организацию производства, на разработку моделей одежды, на рекламную кампанию. По самым скромным ориентировочным подсчетам на весь проект потребуется около 1 млн. \$. Естественно, что для реализации проекта потребуется спонсор. Однако на наш взгляд, умный спонсор не останется внакладе и очень скоро не только вернет свои деньги, но сможет заработать вполне приличную сумму.

Естественно, что в настоящее время этот проект пока не реализован и даже не запатентован (патентовать идеи в России, увы, нельзя). Однако авторы проекта уверены, что разумный спонсор с большой

выгодой для себя сможет помочь многим людям сохранить себя и сохранить свое спокойствие.

Таким образом спонсор поможет победить озоновую дыру.

УДК 551.509:629.13

О. Г. Богаткин, доц. Т. Н. Гришина, асп.

АВИАЦИЯ И ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Все руководители гражданской авиации России, да, пожалуй, не только России, говорили и говорят о том, что авиация стоит «на трех китах»: безопасности полетов, регулярности полетов и экономичности воздушных перевозок. Нет ни одного из этих «трех китов», которому не помогала бы метеорологическая служба, обеспечивающая работу гражданской авиации (ГА). Однако не будем сейчас говорить о безопасности и регулярности полетов, а поговорим только об экономической эффективности воздушных перевозок, об экономии топливно-энергетических ресурсов.

Гражданская авиация в настоящее время решает важные государственные задачи, причем часто сложность и особенность выполняемых задач такова, что кроме авиации их никто другой выполнить не может. Сейчас ежегодно ГА выполняет около 30 млн. самолетов-вылетов, из которых примерно 2 млн. приходится на вылеты наших магистральных транспортных самолетов. И вот эти транспортные самолеты каждый день (не год!) сжигают в небе только европейской части России 40 эшелонов топлива! Это 240 тыс. тонн керосина, а каждая тонна керосина стоит около 200\$! Прочитав эти цифры, понимаешь, что авиация может быть причастна к экономии топливно-энергетических ресурсов.

К сожалению, мы или не умеем, или не хотим разумно считать деньги. На самом деле у нас есть несколько путей снижения затрат при пользовании авиационным транспортом и экономии топливно-энергетических ресурсов. Вот основные из них, но, сначала еще одна цифра: 60 % стоимости воздушных перевозок составляет стоимость топлива.

1. *Повышение безопасности полетов.* Сейчас в целом по России в гражданской авиации ежегодно происходит около 500 возвратов

воздушных по вине метеорологической службы (неправильный прогноз погоды). Один возврат самолета обходится авиапредприятию примерно в 4000\$. Следовательно, общие убытки ГА от возвратов воздушных судов в год составляют 2 млн. \$. Если метеослужба сможет повысить качество прогнозов хотя бы на четверть, то этим самым мы уменьшим потери ГА на 0,5 млн. \$, а 60 % от этой суммы составляет керосин, т.е. топливно-энергетические ресурсы.

2. *Замена самостоятельного руления самолета перед взлетом и после посадки на выруливание с помощью тягача.* Перед каждым взлетом и после каждой посадки самолет или выруливает на взлетную полосу, или заруливает на стоянку. Время руления самолета в среднем составляет 2 мин, а расход топлива при рулении около 50 кг в минуту. Не очень сложная арифметика показывает, что приобретение на аэродромах тягачей и их эксплуатация вместо самостоятельного выруливания самолетов позволяет сэкономить не менее 50 млн. \$ в год. Это опять только топливно-энергетические ресурсы.

3. *Оптимальное использование предварительных штурманских расчетов.* Существующая автоматизированная система штурманского обеспечения полетов (АСШОП) позволяет при проведении предварительного штурманского расчета (на земле, до вылета) оценить расход топлива и время полета между двумя пунктами по двум различным воздушным трассам и на двух эшелонах на каждой, т.е. «предлагает» четыре разных варианта полета. Задача экипажа и диспетчера состоит в том, что из четырех предлагаемых вариантов выбрать оптимальный. Если есть вариант, который сокращает время полета хотя бы на одну минуту, то при 2 млн. вылетов в год это составит чуть больше 33000 часов. Магистральный транспортный самолет расходует за час полета в среднем 5000 кг керосина (Ил-62 и Ил-86 расходуют по 9 – 10 т/ч, Ту-154 – 7 т/ч, Ту-134 – 3,5 т/ч), так что экономия на каждом полете только одной минуты летного времени приведет к экономии в год для всей гражданской авиации России 165000 т топлива. Это 33 млн. \$. К сожалению, диспетчерская служба часто при принятии решения на полет по тому или иному варианту маршрута руководствуется несколько другими критериями (занятость воздушной трассы, наличием наземных средств сопровождения ВС и т.д.). Поэтому общая экономия топливно-энергетических ресурсов в настоящее время оказывается значительно меньше указанной величины.

4. *Создание новых более экономичных и более «тихих» двигателей.* В специальной литературе появлялись сообщения о том, что возможно создание авиационного двигателя, который будет расходовать в два раза меньше топлива по сравнению с существующими. Пусть уменьшение расхода топлива будет не в два раза, а «всего» на две тонны керосина в час. Если принять количество наших основных самолетов за 1000 и налет в год за 1000 часов, то замена двигателей на всех самолетах обеспечит нам экономический эффект в 400 млн. \$. Такой суммы должно хватить на разработку, создание и внедрение новых двигателей. А ведь 400 млн. \$ – сумма, получена на экономии топливно-энергетических только за один год!

Кроме перечисленных четырех основных направлений экономии топливно-энергетических ресурсов можно говорить об экономии электроэнергии, экономии газа, экономии воды, что также прямо или косвенно является экономией топливно-энергетических ресурсов, однако в данной работе это рассматриваться не будет.

В заключение хочется отметить, что разумно подходить к экономии топливно-энергетических ресурсов в авиации, авиационный транспорт можно сделать более конкурентноспособным по отношению к другим видам транспорта, и работу в этом направлении следует продолжать.

УДК 551.51

О. Г. Богаткин, доц. Г. В. Заболотников, ст. преп.

ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

В связи с введением в эксплуатацию высокоскоростных автомагистралей, возрастанием напряженности и скоростного режима движения автомобилей в статье обосновывается необходимость создания системы специализированного метеорологического обеспечения автомобильного транспорта. Определяется перечень и роль метеорологических факторов и элементов погоды, обуславливающих скоростной режим, пропускную способность автострад и в целом влияющих на безопасность дорожного движения. Разрабатывается и обсуждается механизм сбора, первичной обработки, распространения и доведения метеорологической информации до потребителей: органов контроля и

управления дорожным движением, дорожных служб и водителей автотранспорта, а также система метеорологического обеспечения автомобильного транспорта в целом. Создание системы специализированного метеорологического обеспечения автотранспорта призвана повысить ритмичность, экономичность и безопасность дорожного движения при минимальных затратах участников дорожного движения.

УДК 551. 576

Б. М. Воробьев, доц.

О ТЕМПЕРАТУРАХ ЗАМЕРЗАНИЯ ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫХ КАПЕЛЬ ВОДЫ

По современным представлениям, образование ледяных частиц в атмосфере является преимущественно вторичным процессом и осуществляется путем замерзания переохлажденных капель. В свою очередь замерзание капли происходит в результате образования в ней гетерофазных ледяных зародышей («центров кристаллизации») и их последующего роста (время собственно замерзания капли). При температурах не очень близких к 0 °С ($-3 \div +5$ °С) это время очень мало, так что можно полагать, что капля замерзает практически мгновенно после образования в ней гетерофазного ледяного зародыша. Различают два процесса образования таких зародышей: гомогенный (спонтанный, самопроизвольный), происходящий в чистой жидкости и 2) гетерогенный, происходящий на поверхности содержащейся в жидкости твердой примеси. В естественных условиях оба эти процесса действуют совместно. При не слишком низких температурах преобладает гетерогенное льдообразование, а при низких температурах – гомогенное.

Скорость как гомогенного, так и гетерогенного льдообразования зависит от температуры. Анализируя экспериментальные данные о замерзании большого числа капель дистиллированной и естественной воды, нами получена эмпирическая формула температурной зависимости скорости образования гетерофазных ледяных зародышей $\omega(T)$ в виде:

$$\omega(T) = B \exp(-\beta T), \quad / \text{м}^3 \cdot \text{с} \quad (1)$$

где B, β – константы, численно равные 1, / $\text{м}^3 \cdot \text{с}$ и 0,615 град⁻¹, соответственно; T – температура жидкости (°С).

Используя эту зависимость, а также основное кинетическое уравнение для скорости замерзания монодисперсного водного аэрозоля, найдены следующие уравнения для расчета температуры замерзания ($T_{p,r}$) p -й доли переохлажденных капель радиуса r :

а) Изотермическая кристаллизация

$$T_{p,r} = \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{\frac{4}{3} \pi r^3 B \tau}{[-\ln(1-P)]}\right), ^\circ\text{C} \quad (2)$$

б) Кристаллизация охлаждающихся

$$T_{p,r} = \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{\frac{4}{3} \pi r^3 B}{[-\ln(1-P)] \beta \gamma (w-v)}\right), ^\circ\text{C} \quad (3)$$

В этих уравнениях: τ – время; γ – вертикальный градиент температуры в облаке; w – скорость восходящих движений воздуха; v – гравитационная скорость падения капли радиуса r .

Изотермическая кристаллизация, по-видимому, имеет место в предвершинной части облаков, где капли находятся практически во взвешенном состоянии. В облаках с устойчивыми восходящими движениями воздуха идет процесс замерзания охлаждающихся капель при их подъеме.

Как видно, из уравнений (2) и (3), температура замерзания капель зависит не только от их размера (r), но и времени нахождения капель в переохлажденном состоянии (τ), скорости охлаждения

($-\frac{dT}{dt} = \gamma(w-v)$), а также относительной доли замерзающих капель

(P). При $P = 0,5$ речь идет о средней температуре замерзания капель.

Выполненные нами расчеты показывают значительный разброс значений $T_{p,r}$ в зависимости от перечисленных выше параметров капли и облака. Этим, в частности, можно объяснить наличие существенных различий в средних температурах замерзания переохлажденных капель, полученных экспериментальным путем различными авторами.

По-новому можно объяснить и существование критической температуры на верхней границе облаков, дающих осадки ($T_{кр} < -10 \div$

12 °С). При такой температуре по нашим расчетам замерзает ничтожно малое количество переохлажденных капель ($P = 10^{-6} \div 10^{-8}$), которые и являются зародышами частиц осадков. Называть её температурой интенсивной кристаллизации ($T_{ик}$), как это делается в отечественной литературе, вряд ли будет правильно.

УДК 551.586

Г. И. Воронов доц.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В настоящее время в различных регионах страны наблюдаются попытки создания систем мониторинга состояния окружающей среды с целью накопления всей доступной информации для своевременного выявления тенденций (прежде всего негативных) эволюции окружающей среды и выработки научно-обоснованных рекомендаций для принятия решений.

В качестве источников информации привлекаются данные федеральных и местных сетей наблюдений за состоянием окружающей среды.

Система такого рода в информационном плане относится к так называемым *интегрированным геомониторинговым системам*.

Основная проблема создания геомониторинговой системы состоит, прежде всего, в слабом развитии инфраструктуры накопления и передачи информации в учреждениях различных ведомств.

Ведомственные стандарты создавались в разное время, применительно к разному уровню вычислительной техники и пропускной способности каналов связи для решения своих сугубо ведомственных задач. Даже внутри одного ведомства (администрации города) для однотипной информации очень часто применяются различные стандарты.

Проблемы другого рода связаны с неполнотой существующих информационных ресурсов и могут быть разбиты на следующие основные группы:

- отсутствие единой для разных ведомств утвержденной системы электронных карт различного масштаба (как минимум масштабов 1:100 000 для территории области и 1:10 000 для промышленных городов);

- отсутствие достаточно плотной и бесперебойно действующей наблюдательной сети контроля загрязнения окружающей среды Росгидромета;
- отсутствие ведомственных или территориальных систем сбора и обработки информации.

Информационное обеспечение системы должно базироваться на двух чрезвычайно важных обстоятельствах:

- Сохранять существующую систему сбора и обработки ведомственной информации;
- Обеспечивать ведомственным учреждениям доступ в проектируемую систему для получения необходимой информации по своему направлению.

Игнорирование первого из них приведет к существенному росту как затрат на создание, так и затрат на эксплуатацию, сделав ее чрезвычайно зависимой от уровня финансирования.

Подавляющее число ведомственных информационных потоков (разного рода таблицы, отчетные формы и пр.) не содержит внутреннего контроля правильности. С учетом определяющего значения при их подготовке «человеческого фактора», вся собираемая информация будет требовать обязательной проверки и корректировки. Для этого очень важно обеспечить ведомственным структурам доступ к некоторым ресурсам создаваемой системы, обеспечивая тем самым и решение их собственных задач.

С учетом всего вышесказанного, в основу требуется положить геоинформационную систему распределенного доступа, выполненную по технологии «клиент-сервер», с использованием единственной современной компьютерной сети, к которой могут быть подключены сразу все клиенты – Интернета.

В работе рассмотрены пути и последовательность действий по проектированию такой системы для областного уровня.

УДК 551.509

А. С. Гаврилов, проф., Г. И. Воронов, доц.

ЧИСЛЕННЫЙ ПРОГНОЗ СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

В настоящее время возрастают требования к качеству анализа и прогноза тонкой структуры атмосферного пограничного слоя (АПС),

368302

включая такие элементы как параметры приземных или приподнятых инверсий температуры, характеристики устойчивости атмосферы и интенсивности турбулентности. Особое значение это приобретает для прогноза так называемых неблагоприятных метеорологических условий (НМУ), на основании которого промышленные предприятия с наиболее опасными для окружающей среды и здоровья населения выбросами в атмосферу должны предусматривать те или иные мероприятия по их снижению.

Структура АПС формируется, как известно, под воздействием двух основных факторов: особенностей развития процессов в свободной атмосфере и характера подстилающей поверхности. Численная модель АПС, претендующая на использование в оперативной практике, должна, с одной стороны, адаптировать поступающую по каналам связи информацию о фоновом синоптическом прогнозе, а с другой — адекватно описывать особенности атмосферной циркуляции над разнообразными формами ландшафта. В качестве первого источника информации привлекаются данные фонового аэросиноптического прогноза в узлах регулярной сетки (форматы GRIB). Что касается информации о ландшафте, то для этой цели используется многослойная электронная карта территории, поддерживаемая специализированной геоинформационной системой (ГИС) Z/Prognosis.

Для эксплуатации в оперативном режиме применяется квазистатистический вариант записи уравнений гидродинамики, пригодный для использования на масштабах в сто и более километров. Для замыкания системы уравнений переноса количества движения привлекаются упрощенные соотношения, вытекающие из моментных уравнений для шести независимых компонент тензора напряжений Рейнольдса и трех компонент вектора турбулентного потока тепла, записанных в равновесном приближении (баланс между генерационными и диссипативными членами). В этом случае, как можно показать, связь напряжений с градиентами соответствующих величин приводится к линейной, причем соответствующие коэффициенты пропорциональности (коэффициенты турбулентности) вычисляются из некоторых трансцендентных уравнений.

Более точная схема замыкания привлекается только для описания вертикального переноса для дисперсии турбулентных флуктуаций вертикальной компоненты скорости ветра (σ_w^2) и третьего момента

$\Gamma_w = \langle w'^3 \rangle$ (турбулентный поток σ_w^2), а также в уравнении теплопроводности, которое интегрируется совместно с моментным уравнением для турбулентного потока тепла. Такой подход оказывается чрезвычайно важным с точки зрения воспроизведения эволюции приподнятых инверсий.

Для более корректного воспроизведения циркуляции атмосферы на масштабах десятки и сотни метров (включая циркуляционные зоны в окрестности зданий) привлекается 40-уровневая численная модель с использованием полных уравнений гидродинамики, дополненная необходимыми для замыкания уравнениями для вторых одноточечных моментов турбулентных пульсаций в полной форме.

Приведены примеры внедрения разработанной модели прогноза НМУ в оперативную практику, а также результаты исследований по верификации модели и оценки оправдываемости прогнозов НМУ.

УДК 551.5

Г. Н. Граховский, доц.

ОСОБЕННОСТИ СВЯЗЕЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА С ТЕМПЕРАТУРОЙ НА УРОВНЕ 850 гПа В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Гидродинамический прогноз метеорологических величин в свободной атмосфере, как известно, существенно превосходит по качеству аналогичный прогноз приземных условий. Поэтому в схемах среднесрочного прогноза погоды на основе статистической интерпретации гидродинамического прогноза фоновых метеорологических полей предпочтительно использование предикторов на основе данных прогноза для свободной атмосферы. При прогнозировании приземной температуры на средние сроки в рамках данного подхода широко используется в качестве предиктора прогноз температуры воздуха на уровне изобарической поверхности 850 гПа. В этой связи особый интерес представляет исследование на основе фактических данных специфики влияния на связь между ними конкретных физико-географических условий различного масштаба — от мезомасштабных особенностей атмосферной циркуляции до локальной орографии.

В качестве исходных данных использовались результаты ежедневных наблюдений за температурой воздуха у земли и на уровне

850 гПа, давлением у земли, высотой изобарической поверхности 850 гПа, скоростью и направлением ветра у земли и на уровне 850 гПа за 0 и 12 часов по Гринвичу в Санкт-Петербурге за 5-летний период (с 1994 – 98 гг.).

В качестве характеристики связи между температурой воздуха у земли (T_0) и температурой на уровне изобарической поверхности 850 гПа (T_{850}) рассматривалась разность ΔT между соответствующими синхронными значениями

$$\Delta T = T_0 - T_{850}.$$

Анализировались значения ΔT отдельно по каждому из основных румбов направления ветра у земли отдельно для дневного и ночного времени суток – по данным зондирования за 0 и 12 часов СГВ – в пределах каждого месяца. Выявлен ярко выраженный годовой ход с постепенным увеличением значений ΔT от зимы к лету. При этом различия между летними и зимними значениями для ночного времени суток (срок 00 СГВ) существенно меньше чем днем (по данным срока 12 СГВ). По характеру годового хода ΔT выделено два типа процессов, имеющих свои особенности:

- вынос воздуха с моря (при северном и западном направлении ветра)
- вынос воздуха с суши (при южном и восточном направлении ветра).

Для каждого из этих типов выявлены определенные особенности в характере термической адвекции и в величине вертикального термического градиента.

Рассмотрена также зависимость годовой амплитуды ΔT от направления ветра у земли.

УДК 551.576.072

Г. Н. Граховский, доц., Л. О. Неелова, доц.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ КОМПОНЕНТ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Как известно, в свободной атмосфере существует целый класс свободных колебаний объектов циркуляции различного масштаба, аппроксимируемых в виде спектральных гармоник на основе разложения в ряды по обобщенным сферическим функциям. Для решения

задач моделирования и долгосрочного прогноза общей циркуляции атмосферы, а также макропогодных условий представляет особый интерес исследование специфики колебаний свободной атмосферы по фактическим данным.

В представленном докладе в качестве исходных данных использовались полусферные поля высоты изобарической поверхности 500 гПа, которые раскладывались «в базисе» обобщенных сферических функций.

При расчетах брался спектр возмущений от нуля до восемнадцати, что охватывает класс возмущений полушарного масштаба от наиболее крупных (составляющие циркумполярного вихря) до процессов мезомасштаба. С помощью обратного преобразования Фурье восстанавливались основные характеристики поля геопотенциала при разном количестве коэффициентов разложения. Из анализа полученных результатов можно сделать определенные выводы об основных составляющих циркумполярного вихря, а также о некоторых обобщенных характеристиках реального поля.

На основе разложения скалярного поля АТ-500 с помощью рядов Фурье исследовались спектральные моды (коэффициенты разложения) за период с 1972 по 1998 годы. Период колебаний определялся как отношение $366/n$, где n – номер Фурье-гармоники. Для анализа были использованы временные ряды коэффициентов разложения $P_{1,n}$ при $n = 1...18$. В этом случае коэффициенты разложения имеют 19 зональных и 342 тессеральных гармоник. Гармонический анализ проводился с точностью до 36 гармоник. Разложение 190 временных рядов спектральных мод геопотенциала АТ-500 в ряд Фурье позволяет выделить целый класс колебаний, присутствующих в реальной атмосфере. Следует отметить, что весьма сложно разделить выявленные колебания на свободные и вынужденные. Если годовые колебания можно отнести к чисто вынужденным, то во всех остальных случаях следует считать, что существующие колебания являются суммой свободных и вынужденных колебаний.

$$A = \Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}.$$

Ночные амплитуды годового хода ΔT значительно меньше дневных при всех направлениях ветра. Но при этом амплитуды при С и З ветрах оказались меньше, чем при Ю и В. Кроме того, годовой ход

при выносе воздуха с моря характеризуется медленным возрастанием к лету и быстрым убыванием к зиме, а при выносе с суши интенсивность возрастания и убывания больше и симметрично во времени. Это влияние процессов первого типа проявляется и в известном затяжном характере весны и осени в Санкт-Петербурге.

Рассмотренные связи совпадающих во времени и пространстве фактических температур воздуха у земли и на уровне 850 гПа оставляют не выясненными вопросы об информативности прогностических значений T_{850} , рассчитываемых различными гидродинамическими моделями. Для качественного прогнозирования приземной температуры следует учитывать пространственно-временную структуру рассмотренных связей и особенности погрешностей прогнозов температуры, ветра и характера адвекции на основе конкретных моделей. Этим проблемам посвящены дальнейшие исследования, проводимые в данном направлении.

УДК 551.501+551.508

*Л. И. Дивинский, проф., Я. И. Козлов, студ.,
В. В. Чукин, докторант*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА НЕОДНОРОДНОСТЯХ АТМОСФЕРЫ

С целью разработки методов восстановления вертикального профиля ветра в атмосфере разработана и реализована численная математическая модель рассеяния электромагнитного излучения неоднородностями атмосферы. В данной модели исходной информацией является число и интенсивность источников излучения, число и интенсивность неоднородностей атмосферы, высота расположения неоднородностей и скорость их перемещения, а также число и расположение приемных антенн.

Источником первичного электромагнитного излучения естественного происхождения может служить излучение релятивистских электронов, двигающихся в межзвездном космическом пространстве по спиральным траекториям вдоль силовых линий межзвездного магнитного поля (фоновое радиоизлучение Галактики) на частотах менее 300 МГц, либо тепловое электромагнитное излучение молекул кислорода и водяного пара (тепловое излучение атмосферы) на частотах вы-

ше 300 МГц. Указанные выше источники являются непрерывными по пространству и, следовательно, могут быть представлены в модели как совокупность точечных некоррелированных источников излучения.

Неоднородности атмосферы (неоднородности температуры, влажности, давления) имеют наибольшую интенсивность у поверхности Земли. Неоднородности температуры встречаются на высотах до 24 км, влажности — до 5 км, а неоднородности давления сравнительно невелики во всем диапазоне высот. Скорость перемещения неоднородностей предполагается, согласно гипотезе Тейлора о замороженной турбулентности, равной средней скорости воздушного потока.

Для осуществления регистрации рассеянного излучения используются три приемные антенны, расположенные в углах равнобедренного треугольника, расположенного в вертикальной плоскости с горизонтальным основанием. Такое расположение антенн позволяет производить измерения только одной проекции скорости перемещения неоднородностей. Выходными параметрами модели являются сигналы на выходе приемных антенн.

Результаты моделирования при различных начальных условиях показывают, что вследствие интерференции излучения одного и того же точечного источника, рассеянного на различных неоднородностях атмосферы, в районе приемной антенны формируется сложная дифракционная картина. Перемещение неоднородностей на разных высотах приводит к усложнению дифракционной картины, по сравнению со случаем, наличия неоднородностей только на одной высоте.

УДК 551.594.221

Л. И. Дивинский, проф., К. В. Реутская, асп.

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ НЕМОЛНИЕВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В МЕТРОВOM ДИАПАЗОНЕ РАДИОВОЛН

Выявление потенциально молниепасных облаков по сигналам немолниевого радиоизлучения представляется достаточно актуальной задачей. Электрически активные облака являются источниками широкополосного радиоизлучения, которое имеет форму коротких импульсов, объединенных в кратковременные пакеты. Причиной немолниевого излучения являются мелкомасштабные электрические разряды.

Возникновение мелкомасштабных искровых разрядов в облаках, не вырождающихся в многокилометровые молниевые разряды, связано со случайными флуктуациями объемного заряда в электростатическом поле, создаваемом основными разделенными зарядами облака. Выявление хотя бы какой-то части негрозовых, но потенциально молниопасных облаков по сигналам немолниевое радиоизлучения представляется достаточно актуальной задачей, в решении которой могут быть заинтересованы службы управления воздушным движением.

На кафедре экспериментальной физики атмосферы в течение длительного времени проводились исследования, в ходе которых осуществлялась регистрация выходных сигналов радиоприемников метрового диапазона, настроенных на частоты 35 МГц и 57,8 МГц. Приемник, настроенный на частоту 35 МГц построен по схеме прямого усиления. Второй приемник – супергетеродинного типа с промежуточной частотой 2,182 МГц. Для записи сигналов в ЭВМ выходное напряжение приемника поступало на вход 12-ти разрядного быстродействующего аналого-цифрового преобразователя NVL-32. Выходное напряжение приемника 35 МГц преобразовывалось с тактовой частотой 12,5 МГц, либо с частотами в 2 или 4 раза более низкими. Выходное напряжение приемника 57,8 МГц поступало на вход АЦП с преддетекторного выхода и преобразовывалось с тактовой частотой 12,5 МГц. АЦП работало в ждущем режиме, и преобразование начиналось после того, как входное напряжение превышало заранее установленный пороговый уровень. При переходе в режим преобразования АЦП осуществлял 128 кБ (131072) преобразований, запоминаемых во внутренней буферной памяти. После завершения преобразований полученные данные из буферной памяти переписывались на винчестер ЭВМ. При это, как правило, для уменьшения объема данных, занимаемых на дисковой памяти ЭВМ, выполнялась лишь частичная перезапись информации. Обычно на винчестер ЭВМ записывалось от 20000 до 40000 отсчетов.

Временные параметры пакетов импульсов немолниевое радиоизлучения лучше исследовать по результатам наблюдений и регистрации продетектированного сигнала. Анализ тонкой временной структуры и энергетических характеристик сигналов удобнее производить, используя измерения полученные на частоте 57,8 МГц. При аналого-цифровом преобразовании синусоидального сигнала, поступающего на АЦП с выхода усилителя промежуточной частоты, осуществляется

примерно 5,7 преобразований на каждый период колебательного процесса. Это позволяет восстановить амплитуду каждого периода колебаний выходного напряжения и его фазу. Отклонения амплитуды и фазы каждого периода колебательного процесса от импульсной характеристики радиоприемного тракта позволяют произвести оценку интегрального за период воздействия на приемный тракт.

Как правило, на частоте 57,8 МГц напряжения на выходе приемника имеет форму достаточно упорядоченного синусоидального напряжения. Для таких сигналов характерна относительно небольшая энергия воздействия на приемный тракт.

Однако встречаются сигналы, которые характеризуются заметными нарушениями регулярности выходного синусоидального напряжения. Это проявляется в резких флуктуациях амплитуды и сдвигах фазы колебательного процесса. Выполненный анализ позволил установить, что энергия воздействия на приемный тракт при появлении такого сигнала многократно превышает уровень характерный для сигнала синусоидальной формы.

В докладе рассматривается методика анализа данных эксперимента, в которой предполагается, что наблюдаемые сигналы представляют собой наложение откликов радиоприемного устройства на кратковременные импульсные воздействия. Это позволяет произвести расчет функции спектральной плотности напряженности электрического поля сигналов радиоизлучения и последующее ее сравнение с функцией спектральной плотности рассчитанной теоретически для данного диапазона длин волн.

УДК 551.594.221

Л. И. Дивинский, проф., Нгуен Вьет Хан, асп.

ВЫЯВЛЕНИЕ СИГНАЛОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СИЛЬНОТОЧНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ НА ФОНЕ ПОМЕХ

Обнаружение негрозовых, но потенциально молниепасных для приближающихся самолетов облаков, может быть реализовано, если использовать сигналы радиоизлучения, возникающие при появлении мелкомасштабных электрических внутриоблачных разрядов.

Как известно, развитие грозových очагов начинается с процесса пространственного разделения электрических зарядов и появления в облаке электростатических полей. В таких электрически активных облаках на ранних стадиях развития процессов электризации появляются области разделенных электрических зарядов разных знаков, между которыми наблюдаются электрические поля с достаточно большой напряженностью. Однако, на начальной стадии развития процесса электризации в облаке могут не выполняться условия, необходимые для формирования многокилометровых каналов молниевых разрядов. В то же время подобные облака могут быть опасными для подлетающих к ним самолетов. Это объясняется тем обстоятельством, что летящие самолеты, как правило, назлектризованы. Электризация самолета возникает от соударений с различными атмосферными частицами (водяными, ледяными, пылевыми) и из-за выброса работающим двигателем несгоревших частиц топлива. Кроме того, за самолетом имеется длинный шлейф разогретых газов, в которых есть токопроводящие частицы несгоревшего топлива. Все эти факторы способствуют нарастанию напряженности электрического поля до пробойного значения при приближении самолета к внутриоблачному электрическому заряду, знак которого противоположен знаку заряда самолета. Происходящий молниевый разряд поражает самолет и может привести к непредсказуемым последствиям. Молниевый разряд такого облака является результатом приближения самолета. Самолет как бы провоцирует разряд, который не произошел, если самолет не приблизился к облаку.

Выявить по крайней мере какую-то часть подобных облаков можно, если принимать сигналы, излучаемые при формировании мелкомасштабных электрических разрядах, не вырождающихся в многокилометровые молнии. Появление мелкомасштабных внутриоблачных электрических разрядов и связанного с ними немолниевое радиоизлучения наблюдается задолго до перехода облака в грозovou стадию развития. При обычном характере развития грозového процесса первые сигналы немолниевое радиоизлучения облаков появляются за 12-18 мин. до первого молниевое разряда. В условиях пониженной конвекции, например в холодное время года, электрически активное облако может и не дойти до такой стадии развития, когда в нем начнут возникать молниевые разряды. Однако такие облака опасны для приближающихся к ним самолетов и количество поражений самолетов молниевыми разрядами в холодное время года весьма велико.

Немолниевое радиоизлучение облаков имеет форму пакета кратковременных импульсов. Как показывает анализ, излучение характеризуется появлением аperiodического кратковременного импульса занимающего весьма широкую полосу частот. Экспериментальные исследования показали, что сигналы немолниевое радиоизлучения характеризуются весьма широкой полосой частот, простирающейся по крайней мере до 1000 МГц. Анализ структуры излучаемого сигнала позволяет сделать вывод, что излучаемый сигнал имеет характер аperiodического электромагнитного импульса, состоящего из трех компонент — электростатической, индукционной и радиационной. Для расстояний, превышающих 10 км, статическая и индукционная составляющие имеют пренебрежимо малое значение. Радиационная составляющая сигнала немолниевое радиоизлучения может измеряться единицами В/м и иметь длительность, измеряемую наносекундами. Пространственная протяженность области, в которой поле, перемещающееся со скоростью распространения радиоволн, измеряется 12 — 20 м. При прохождении излученного сигнала немолниевое радиоизлучения через рамочную антенну, возникающее на ее выходе напряжение измеряется единицами вольт, имеет длительность 2 — 4 наносекунды и воспринимается радиоприемным устройством как аналог δ -импульса. Возникающее на выходе приемника напряжение практически соответствует импульсной характеристике приемника и имеет форму тем более короткого импульса, чем шире полоса принимаемых частот.

В экспериментальной установке использовался приемник прямого усиления с логарифмической амплитудной характеристикой, настроенный на частоту 35 МГц и имеющий полосу пропускания 4 МГц. Эта частота соответствует середине полосы частот, выделенной для работы трактов усилителей промежуточной частоты телевизионных приемников. На ней заметно более низкий уровень помех, нежели на смежных частотах. Полезные сигналы, обусловленные одиночным воздействием, на выходе имеют форму кратковременных импульсов, длительность которых обычно измеряется долями микросекунды, и, как правило, не превышает 1,8 мкс. Однако могут быть ситуации, когда очередное воздействие на приемный тракт последует еще до того, как в тракте резонансного усиления затухнет колебательный процесс, обусловленный предыдущим воздействием. В результате суммирования колебаний выходной сигнал может оказаться более длительным.

Однако, полезные сигналы наблюдаются на фоне мешающих напряжений. Появление мешающих напряжений связано с естественными

и антропогенными воздействиями. Напряжения помех естественного происхождения наиболее часто связаны с излучением дальних грозových процессов. Эти напряжения имеют ту же структуру, что полезные сигналы и их фильтрация практически нереализуема. Однако, при многопунктном приеме излученных сигналов и последующей их обработке, направленной на определение координат источника излучения, область результирующих решений будет находиться за пределами зоны обзора и такие напряжения будут отфильтровываться. Надо отметить, что напряжения от излучений дальних гроз наблюдаются на частоте 35 МГц относительно редко, поскольку в основном на этих частотах излученные сигналы распространяются, как правило, в пределах прямой видимости. Помехи антропогенного вида появляются в результате работы различных технических средств. В некоторых случаях могут приниматься гармоники радиостанций, работающих в области более низких частот. Иногда наблюдаются помехи, связанные с работой устройств, в электрических цепях которых протекают сильные импульсные токи.

Как правило, помехи антропогенного происхождения имеют структуру напряжений, которые по своим временным характеристикам и особенностям значительно отличается от полезного сигнала. Это позволяет осуществлять фильтрацию полезных сигналов и исключать напряжения помех. Одна из наиболее существенных особенностей мешающих напряжений связана с тем, что они, как правило значительно менее широкополосные и наблюдаемые на выходе приемного устройства импульсы помех как правило заметно более длительные. Кроме того, зачастую выявляется квазипериодическая структура принимаемых напряжений помех.

Эти особенности сделали возможной разработку программы, достаточно эффективно выявляющей полезные сигналы из общего потока импульсов, наблюдаемых на выходе приемного тракта аппаратуры.

УДК 551.465.553

К. Л. Егоров, доц., Е. В. Стебеньков, ст. преп.

ЗАВИСИМОСТЬ ШЕРОХОВАТОСТИ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПОТОКА КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ ОТ ВОЗРАСТА ВОЛНЫ

Как известно, шероховатость любой поверхности, в том числе и водной, можно охарактеризовать параметром (или уровнем) шерохо-

ватости z_0 . Из анализа размерностей было получено выражение для расчета параметра шероховатости над водной поверхностью:

$$z_0 = m \frac{v_*^2}{g}, \quad (1)$$

здесь m — некая универсальная постоянная, v_* — динамическая скорость. Это выражение согласуется с общепринятым предположением о том, что параметр шероховатости зависит от напряжения трения на поверхности. Значение m у разных авторов колеблется от 0.012 до 0.085.

Вместо параметра шероховатости для характеристики гидродинамических свойств морской поверхности используется коэффициент сопротивления C_u :

$$C_u = \left(\frac{v_*}{u_{10}} \right)^2, \quad (2)$$

здесь u_{10} — скорость ветра на высоте 10 м (высота флюгера). Сопротивление водной поверхности складывается из поверхностного сопротивления (пропорционального u_{10}^2) и сопротивления формы (пропорционального u_{10}^3). Для определения C_u обычно используется общее выражение:

$$C_u = (a + bu_{10})10^{-3}. \quad (3)$$

Из общих рассуждений следует, что сопротивление водной поверхности должно зависеть от его состояния, т.е. от степени развития волнения. Степень развития волнения можно охарактеризовать параметром C_p / v_* , где C_p — фазовая скорость волны в пике максимального спектра. Этот параметр называют «возрастом волны», т. к. он при развивающемся волнении невелик и увеличивается с ростом развития волнения. Тогда зависимость C_u от возраста волны можно выразить в следующем виде:

$$C_u = A(C_p / v_*)^B. \quad (4)$$

Особенность воздушного потока над водной поверхностью состоит в том, что волны растут, получая количество движения от воздушного потока и, в свою очередь, влияют на этот поток, т.е. возникает двусторонняя связь. Можно предположить, что поток количества движения над водой складывается из турбулентной составляющей (τ_t) и волновой составляющей (волнового импульса τ_w), т.е.:

$$\tau(0) = \tau_t + \tau_w \quad (5)$$

Вклад волнового импульса можно описать выражением:

$$\tau_w = 0.114 \rho_a (C_p / v_*)^{-3/2} \left[30(C_p / v_*) - \frac{1}{2}(C_p / v_*)^2 \right] v_*^2 \quad (6)$$

Здесь ρ_a – плотность воздуха. Вклад же турбулентной составляющей описывается известным выражением:

$$\tau_t = \rho_a \left(\frac{\kappa}{\ln(10/z_0)} \right)^2, \quad (7)$$

где κ – постоянная Кармана.

Тогда, задавая возраст волны C_p / v_* , можно получить зависимость шероховатости и составляющих потока количества движения от возраста волны.

УДК 556.535.2(282.247.2)

Ю. В. Ефимова, инж., К. В. Кондратович, проф.

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНЫХ И КАТАСТРОФИЧЕСКИХ НАВОДНЕНИЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Повторяемость невыховских наводнений существенно зависит от времени года. Используя архив случаев наводнений с 1885 года по 2001 г., можно сказать, что сильные и катастрофические наводнения

преобладают в осенний период и составляют 64 % от всех случаев наводнений. Второе место по значимости занимают зимние наводнения, они составляют 30% от всех случаев наводнений за исследуемый период. В зимние месяцы первое место по повторяемости занимает декабрь (8 случаев). Почти равноценен с декабрем январь (7 случаев). Февраль не входит в опасный наводненческий период, что верно и для сильных (катастрофических) наводнений. В феврале было только 1 сильное наводнение 22 февраля 1990 года, когда Нева поднялась на 2 метра выше ординара.

Сильные или катастрофические наводнения в декабре и январе могут возникать при резкой тенденции к потеплению. Практически все случаи происходили при температуре воздуха выше нуля (0 - (+2.5 °C)).

При исследовании зимних невских наводнений следует обращать внимание на изменение ледовитости (т.е. тенденцию к потеплению или похолоданию) за последние годы. Тенденция к уменьшению ледовитости может косвенно отражаться на увеличении числа случаев зимних наводнений. Так же во внимание следует принимать тип зимы. В очень суровые зимы наводнений за период с 1956 – 1985 зимних наводнений не было. Данные выводы подтверждаются исследованиями температуры воздуха в зимний период и случаев наводнений, проведенными на кафедре ДАКЗ во главе с проф. К. В. Кондратовичем. Снижение средней месячной температуры воздуха и наличие сильных морозов косвенно свидетельствует о появлении значительного ледового покрова. Неоднократно упоминалось, что причиной невских наводнений является «длинная» волна. На возникновение и высоту «длинной» волны влияет ряд факторов. Один из основных – ветер. При образовании ледового покрова воздействие ветра на водную поверхность на больших площадях ослабляется и, очевидно, данный фактор может влиять на возникновение, продвижение и высоту «длинной волны».

На кафедре ДАКЗ разработан график зависимости случаев наводнений от суммы отрицательных градусодней мороза. Основное кол-во наводнений происходило ниже градации НН (ниже нормы). Нами график был уточнен отдельно для сильных и катастрофических наводнений. Только одно наводнение произошло при градации НН. Но, за несколько дней до наводнения произошло очень резкое потеп-

ление, и температура повысилась до $+1^{\circ}\text{C}$. При накопленной сумме градусодней мороза выше температурной градации НН, сильное или катастрофическое наводнение может возникнуть при переходе на восточную форму атмосферной циркуляции. При других формах атмосферной циркуляции вероятность возникновения сильного или катастрофического наводнения при градации НН в декабре и январе понижена.

Перечисленные факторы можно считать фоновыми предикторами для возникновения сильных или катастрофических наводнений. К фоновым предикторам относятся также основные формы циркуляции и типы элементарных синоптических процессов. Ряд исследователей, занимавшихся изучением режима Балтийского и Северного морей, отмечали взаимосвязь изменчивости гидрологического режима с характером атмосферных процессов над Северной Атлантикой и Западной Европой.

Используя архив наводнений за 3 века, имеющийся на кафедре ДАКЗ, мы выбрали из всего ряда случаев даты сильных и катастрофических наводнений и сопоставили их с каталогом Вангенгейма (1891 – 1995 г.). Отдельно были проведены исследования основных форм атмосферной циркуляции и элементарных синоптических процессов (ЭСП) в выбранных случаях. В результате проведенной работы выяснилось, что из 53 рассмотренных случаев в 43 сильные наводнения происходили при западной форме атмосферной циркуляции (W). Причем каждому месяцу соответствовали определенные формы. Так в январе, феврале сильные наводнения происходили только при западной форме циркуляции (W). В декабре, в большинстве случаев, при западной (W) (11 сильных наводнений) и 1 случай при восточной (E).

Сильным и катастрофическим наводнениям в Санкт-Петербурге наиболее часто сопутствует «Западный перенос» (Зап.пер). Он характерен только W. форме циркуляции и встречается в 11 случаях из 53 рассмотренных. Особенно, опасен Зап.пер. для января, где он характерен 5-ти из 7 случаев сильных наводнений.

Сильное или катастрофическое наводнение возможно при меридиональной форме (С) атмосферной циркуляции только в случае «английского северо-восточного» элементарного синоптического процесса. Сильному или катастрофическому наводнению при восточной форме (E) атмосферной циркуляции характерны только два эле-

ментарных синоптических процесса — «пояс высокого давления» и «Стационарное положение IV».

Своевременное определение фоновых предикторов, влияющих на возникновение и интенсивность наводнений в Санкт-Петербурге, помогут внести дополнительную точность в прогноз.

В перспективе, в случае завершения строительства МЗС достаточно точный прогноз колебаний уровня будет важным элементом управления водным режимом и экологическим состоянием Невской дельты, что технологически обеспечивается маневрированием затворами МЗС.

УДК 551. 576

В. И. Ковалев, доц.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОГО И ВОДНОГО БАССЕЙНА В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ

Доклад содержит результаты обработки натуральных наблюдений по метеорологическому и гидрохимическому режиму на акватории водной системы р. Нева — Невская губа за период 1960 — 1962 гг., 1989 — 1992 гг. и 1998 г. А также краткую характеристику антропогенного воздействия на воздушный бассейн Санкт-Петербурга в 80-х и 90-х годах.

По материалам наблюдений дана гидрометеорологическая характеристика и гидрохимическое состояние среды за данный период.

Цель исследований состояла в контроле за состоянием природной среды по программе ОГСНК и выявление возможных изменений в режиме водной системы в связи с возведением комплекса сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений. Кроме того, выявлены особенности распределения загрязнений в водной и воздушной среде и общее исследование экологической обстановки и воздушной среды.

В оценке санитарного состояния водоёма первенствующее значение имеет кислородный режим: растворенный в воде кислород и, связанный с ним, дефицит кислорода, и биохимическое потребление кислорода БПК₅. Приводится климатическая характеристика загрязнений в Невской губе по кислородным показателям за период 1960 — 62 гг.

По обработанным результатам исследований 1960 – 62 гг. выявлено, что устье р. Невы и значительная часть Невской губы сильно загрязнена бытовыми и производственными сточными водами. Физико-химические показатели превышают предельно-допустимые нормы. Наиболее загрязненными участками Невской губы является её восточная часть, прилегающая к городу. Показано, что на самоочищающую способность водоёма и, как следствие, на его санитарное состояние большое влияние оказывают сезонные изменения гидрометеорологических условий. В зимний период, в результате торможения биохимических процессов в Невской губе, происходит накопление загрязнений и ухудшение её санитарного состояния. По построенным графикам обнаружено, что характер распространения загрязнений определяется снижением их количества с востока на запад.

Рассматривая метеорологические параметры, влияющие на состояние загрязнения атмосферного воздуха, нужно заметить, что климатические условия Санкт-Петербурга, влияющие на уровень загрязнения воздуха, несколько более благоприятны, чем в среднем по городам России. Так же изучена миграционная способность вредных веществ в воздушном бассейне, от каких факторов они зависят и взаимодействие их между собой.

В докладе представлены характеристики санитарного состояния Невской губы в периоды 1989 – 92 гг. и 1998 г. Увеличилась насыщенность воды кислородом в устьевой области р. Невы и акватории морского торгового порта. Неблагоприятная гидрохимическая обстановка наблюдалась в местах влияния береговых стоков в устье р. Невы, на севере Невской губы, на юге Невской губы. Шлейф сточных вод от зоны Ольгино в защитном сооружении продолжает иметь место.

Нужно заметить, что на протяжении всего исследуемого нами периода, выбросы в атмосферу автотранспорта превосходят промышленные выбросы.

Полученные материалы наблюдений можно использовать для составления различного вида информационных бюллетеней, справочных пособий, ежегодников, отчетов и в подразделениях Северо-западного управления Гидрометслужбы и других народнохозяйственных и научно-исследовательских организациях.

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ

Одной из важнейших задач прогнозирования, как науки, является разработка оптимальных моделей временных рядов, характеризующих объект исследования. Часто с такими задачами приходится иметь дело в геофизических науках и, в первую очередь, в гидрометеорологии.

Для разработки оптимальной статистической прогностической модели некоторого временного ряда прежде всего необходимо провести всесторонний анализ особенностей этого ряда и получить количественные характеристики этих особенностей. В качестве математического инструментария, с помощью которого выполняется анализ свойств временных рядов, можно применить комплекс различных методов, таких, как цифровой спектральный анализ, Фурье-анализ, метод «гусеницы», R/S -анализ по Харсту, вейвлет-анализ, а также анализ с помощью методов качественной теории динамических систем. В связи со сказанным становится ясным, что умение извлечь объективную информацию о закономерностях, которые несет временной ряд, представляет собой трудоемкую и весьма сложную задачу. Решению этой задачи и посвящена данная работа. При этом нами было проделано следующее.

1. Рассмотрены возможности использования качественной теории динамических систем, методы которой применены к анализу исследуемого временного метеорологического ряда, а именно к среднемесячному давлению в Санкт-Петербурге за 1873 – 1988 гг. В частности, с помощью метода временной задержки координат Такенса была рассчитана корреляционная размерность $d_k = 6,838$ аттрактора гипотетической динамической системы, генерирующей рассматриваемый временной ряд. Поскольку полученная корреляционная размерность имеет дробную величину, можно сделать вывод о том, что рассматриваемая динамическая система (то есть атмосфера) обладает странным аттрактором.

2. Всесторонне исследован статистический феномен автомодельности Харста и произведен R/S -анализ по Харсту названного

временного ряда. С этой целью на языке FORTRAN была разработана программа расчета показателя Харста H по временному ряду наблюдений. Оказалось, что для временного ряда среднемесячного давления в Санкт-Петербурге показатель Харста имеет значение $H = 0.79$, близкое к тому, которое характерно и для других случайных временных геофизических процессов. Указанное значение H свидетельствует о том, что для анализируемого ряда характерно сильное последствие, сильная память и, значит, этот ряд обладает хорошими прогностическими свойствами (предсказуемостью).

3. С помощью пакета прикладных программ, написанного на языке FORTRAN, был проведен ряд численных экспериментов по применению вейвлет-преобразования для анализа свойств временного ряда, включающих в себя:

а) анализ амплитуд (коэффициентов) вейвлет-преобразования исследуемого временного ряда при использовании трех материнских (базисных) вейвлетов: вейвлета Morlet, вейвлета Paul и DOG-вейвлета. Проведенный анализ показал, что использованные материнские вейвлеты дают сходные картины амплитуд вейвлет-преобразования, однако, полного совпадения не наблюдается, поскольку используются различные базисные вейвлет-функции. Нами было выявлено также, что при описании явлений глобального масштаба в качестве материнского вейвлета для выполнения вейвлет-преобразования целесообразно использовать DOG-вейвлет, а явлений локального масштаба – Paul вейвлет;

б) изменение масштаба по времени в вейвлет-преобразовании с целью выделения интервала периодов сильных колебаний, то есть колебаний, имеющих значимые амплитуды среднемесячного давления в Санкт-Петербурге за 1873 – 1988 гг. Компьютерные эксперименты показали, что среднемесячное давление испытывало сильные колебания с периодами в интервале примерно от двух месяцев до десяти лет, причем можно отметить тенденцию, связанную с уменьшением величины периодов значимых колебаний в рассматриваемом временном интервале.

Известно, что для определения статистической предсказуемости некоторого временного ряда наиболее часто используются такие их модели, как модель авторегрессии, модель скользящего среднего, модель авторегрессии – скользящего среднего. Сравнительный анализ точностных характеристик этих моделей показал,

что в сомнительных случаях, когда практически можно использовать любую из трех названных моделей, несколько большую теоретическую точность и заблаговременность обеспечивает модель скользящего среднего второго порядка, затем смешанная модель авторегрессии – скользящего среднего первого порядка и, наконец, модель авторегрессии второго порядка. Однако их различия невелики и, поскольку модель авторегрессии второго порядка имеет наибольшую область допустимых значений автокорреляций, ее применение наиболее удобно.

Перспективы развития данной работы мы видим в следующих направлениях.

1. Пополнение арсенала методов и средств анализа временных метеорологических рядов с целью более полного описания их особенностей, в частности, использование метода анализа сингулярного спектра.

2. Изучение и анализ свойств временных метеорологических рядов в различных климатических зонах, а также получение характеристик региональных и глобального (северополушарного) аттракторов.

3. Разработка оптимальных нелинейных моделей временных метеорологических рядов с учетом выявленных характеристик ряда.

4. Расчет предела статистической предсказуемости временных метеорологических рядов.

УДК 551.5

Е. В. Курзенева, доц., Д. В. Козлова, асп.

УЧЕТ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПОЧВЕННОГО БЛОКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АТМОСФЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Параметризация взаимодействия атмосферы с деятельным слоем суши является одной из важнейших задач в разработке гидродинамических атмосферных моделей. Описание процессов в деятельном слое почвы, где наблюдается суточный ход температуры, важно как в гидродинамическом прогнозировании на разные сроки, так и в климатических моделях. При моделировании распространения тепла и влаги в почве встает проблема правильного описания фазовых переходов - задача Стефана, она представляет собой одну

из весьма сложных задач математической физики. Корректное описание фазовых переходов в почве, т. е. процессов промерзания-протаивания, очень важно при расчете температуры подстилающей поверхности.

Проблема Стефана заключается в том, что на фронте промерзания-протаивания имеет место дополнительный источник или сток тепла за счет фазовых переходов, при этом сам фронт подвижен. Закон движения этого фронта неизвестен. Такой фронт может быть не один. В этом случае уравнение теплопроводности записывается для мерзлой и немерзлой зон, а на подвижном фронте промерзания-протаивания ставятся граничные условия в виде равенства разности потоков тепла теплоте фазового перехода.

Существует ряд экономичных методов, решающих эту задачу, но в них явно не учитывается направление процесса – промерзание или протаивание имеет место в данном случае.

Первый метод основан на применении псевдо-дельта-функции Дирака, где дельта-функцию «размазывают» по температурному интервалу $\Delta = T - T^*$ и аппроксимируют псевдо-дельта-функцией $\delta(T - T^*, \Delta)$. Второй – метод зоны промерзания. Он основан на том, что задачу о промерзании грунта с образованием границы промерзания можно рассматривать и как частный случай задачи с образованием зоны, где имеет место дополнительный член в уравнении переноса тепла за счет промерзания - протаивания, когда температура начала зоны промерзания становится равной температуре конца зоны промерзания, а сама зона промерзания становится бесконечно узкой, как бы вырождается в границу промерзания. Было проведено уточнение двух методов и модифицированы формулы для дальнейшего использования.

Недостатком экономичных методов является невысокая точность и зависимость результатов расчета от параметра Δ в аппроксимации дельта-функции (в данном случае дельта-функция аппроксимировалась «ступенькой»).

Одной из целей работы было нахождение оптимального значения параметра Δ для данной задачи с точки зрения точности расчета температуры поверхности. Для этого наряду с экономичными методами для некоторых тестовых точек был реализован более точный, но трудоемкий метод с введением новых переменных и проведением ли-

неаризации по времени, расчеты проводились на 20 уровнях по глубине в почве. В этом методе предполагается сложное преобразование координат по Э. Г. Палагину, которое позволяет сделать фронт неподвижным, при этом сохраняется инвариантность по отношению к уравнению теплопроводности. При этом в данном исследовании мы пока не учитывали случаи, когда имеет место несколько фронтов промерзания-протаивания.

Были проведены численные эксперименты на базе модели атмосферы, разработанной на кафедре метеорологических прогнозов РГГМУ. Параметр Δ варьировался в пределах 0,01–5K. Сравнивались профили спрогнозированных разными методами температур, и оценивалась разница между ними. Наименьшие отклонения температуры от тестового метода – метода Палагина – получились при значении параметра $\Delta = 0,1K$. Однако эти результаты являются предварительными, так как в некоторых экспериментах в процессе прогнозирования разность между профилями температур до некоторого момента времени уменьшается, а затем возрастает. Это свидетельствует о том, что для того, чтобы сделать окончательные выводы, необходимо решать тестовую задачу с несколькими фронтами промерзания-протаивания.

УДК 551.583.2 (4/5)

Г. И. Мазуров, проф., Т. В. Вишнякова, асп.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ КЛИМАТА НАД ЕВРАЗИЕЙ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 1000 ЛЕТ ПО ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Изменчивость климата общеизвестна. Однако мнения ученых о направлении и длительности изменения противоположны. Проф. Л. Т. Матвеев допускает как возможное потепление, так и похолодание. Примерно так же считает академик К. Я. Кондратьев. С точки зрения экономического развития страны важно знать в каком направлении изменяется климат в ближайшие 50, 100 и даже 200 лет. Для прогноза на такие большие сроки необходим его диагноз за длительное время, например, в 1000 лет. При этом трудно найти объективный показатель.

Нами в качестве такого выбрана ширина годовых колец архитектурных деревянных ископаемых конструкций, а также привлекаются современные данные. Для снижения зависимости ширины колец от возрас-

та дерева произведен пересчет ширины годовых колец в их годовичные индексы. Расчет произведен по методу Т. Т. Битвинскаса.

Для учета влияния солнечной активности на климат Земли при расчетах осреднения производились с периодами в 11 лет, 22, 44 года и 88 лет, а также в 50 лет за продолжительный промежуток времени в 1000 лет (с 900 по 1950 гг.) по пяти районам континента Евразии. В качестве таких районов используется информация по Ленинградской и Новгородской областям, по Кольскому полуострову, Прибайкалью и Приморскому краю. По результатам расчетов были построены совмещенные графики изменчивости годовых индексов с указанными интервалами. Поскольку ширина годовых колец зависит в основном от температуры воздуха и увлажнения, то изменчивости их ширины можно отождествить с изменчивостью климата в рассматриваемых районах.

Анализ построенных графиков показывает, что по всем районам четко прослеживается чередование теплых и холодных периодов. При этом при меньших периодах осреднения (11 лет и 22 года) это проявляется более ярко. К удивлению, это прослеживается и при осреднении в 50 лет, хотя такой интервал времени не кратен периодам солнечной активности.

Общая тенденция к потеплению наблюдается по трем из рассмотренных районов. По Новгороду общий ровный ход, а в Прибайкалье даже намечается похолодание. В целом это совпадает с выводами доклада Ю. П. Переведенцева на Международной научно-практической конференции «География и регион», прошедшей в Перми в октябре 2002 г., о том, что в отдельных регионах наблюдается потепление, а в других – похолодание.

УДК 551.501.724+551.524

Г. И. Мазуров, проф., В. А. Драбенко, преп.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ДАННЫМ ВЕРТОЛЕТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НИЖНЕЙ ТРОПОСФЕРЫ

Анализируются результаты площадного зондирования атмосферы в слое от Земли и до высоты 4500 м в районе Ораниенбаум-Горелово, полученные с помощью вертолета за 5 лет (1992 – 1997). Полеты проводились в дневное время, температура измерялась за бортом вертолета на входе в турбину двигателя. Кинетическим нагревом резервуара темпера-

туры пренебрегли, так как измерения выполнялись от режима внесения до скорости полета 100 – 200 км/час. Прямой нагрев солнечными лучами резервуара был исключен благодаря термозащите. Всего рассматривается около 1000 случаев во все периоды года при различных синоптических ситуациях. Особое внимание обращается на резкое их изменение, и приводится изменение термического режима исследуемого района при этом. Актуальность темы обусловлена тем, что в течение последних 40 лет информация самолетных зондирований атмосферы с использованием метеографа отсутствует.

УДК 551.583 (470.64)

Г. И. Мазуров, проф.; А. В. Лукьянов, соискатель

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ ЗОН КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

Проблема изменения современного климата волнует как ученых, так и практиков. При этом мнения ученых диаметрально противоположны: от парника до ледника (М. Дмитрук, Ж. Природа и человек. М.: №1 2002. С.3-35).

На прошедшей в октябре 2002 г. в Пермском государственном университете научно-практической конференции «География и регион» с интересными докладами по данной проблеме выступили Ю. П. Переведенцев (декан географического факультета Казанского государственного университета) и М. О. Френкель (директор Кировской ЦГМС). Они доказывают, что «наряду с глобальными изменениями наблюдается значительное региональное разнообразие изменения климатического режима».

Поэтому актуальным является исследование климатического режима отдельных регионов. В докладе рассматривается исследование подобного режима в различных ландшафтных зонах (степной, предгорный и горный районы) Кабардино-Балкарии за последние 10 – 15 лет.

Показано, что средняя температура воздуха по рассматриваемому региону повысилась на 1,5 °, а в горных районах – на 2,5 ° и в степных – на 0,9 °.

В целом по региону зима стала короче примерно на 1 месяц. Продолжительность весны увеличилась с 61 дня по климатическим данным до 107 дней в степных районах. Дней с оттепелями стало примерно в 2 раза больше. Для выработки практических рекомендаций полезно выяснить продолжительность этих изменений и тенденций на будущее. Резко изменилась роза ветров. Так, повторяемость преобладающего направления ветра уменьшилась с 30 % до 17 %. Преобладающим стало восточное направление. Предпринимается попытка выяснить причину этого. Объясняется ли это изменением циркуляционных процессов, связанных с антропогенным влиянием на климат, или повышением чувствительности современных анемометробографов по сравнению с флюгерами.

УДК 551.511.3

Л. Т. Матвеев, проф.

ОБ ОШИБКАХ И ПАРАДОКСАХ В МЕТЕОРОЛОГИИ

Представляет интерес обсудить некоторые общие ошибки и заблуждения, встречающиеся в метеорологии (не так давно акад. В. П. Дымников предложил написать даже небольшую книгу на эту тему).

1. Одна из наиболее крупных ошибок второй половины двадцатого века – введение и достаточно широкое использование так называемой изобарической системы координат. В ней, при сохранении горизонтальных координат в том же виде, что и в декартовой системе, в качестве третьей координаты привлекается, вместо высоты, давление воздуха. Переход от высоты к давлению осуществляется с помощью уравнения статики.

При ряде допущений (среди них – отождествление производных вдоль изобарической поверхности с производными по горизонтали) система уравнений динамики атмосферы приводится в изобарической системе к виду, не содержащему плотности воздуха. Это было провозглашено как крупное достижение: не надо возиться с плотностью, привлекать приближение Буссинеска и пр. В действительности переход к изобарической системе означал не только потерю бароклинности (зависимости плотности при температуре и влажности). Но и сжимаемости атмосферы в целом.

Особенно наглядный вид эта ошибка приобретает тогда, когда вместо уравнений движения выписываются уравнения для вихря скорости ветра и его составляющих. В уравнении для вертикальной составляющей вихря, при записи его в изобарической системе, бароклинный член просто исчезает. Уравнения для горизонтальных составляющих вихря в изобарической системе вообще не могут быть получены: нужное при этом третье уравнение движения сводится к уравнению статики. Остается загадкой, как может быть смоделирована муссонная циркуляция (равно как бризовая, горно-долинная, вертикальной плоскости фронтов и циклонов) при использовании изобарической системы? А, если все же моделируется (также публикации не редки как в нашей стране, так и особенно, за рубежом), то, каково соответствие модельных данных наблюдаемым в природе, известно лишь господу-богу.

Анализ многочисленных материалов наблюдений и синоптического опыта, а также результатов численного моделирования позволяет заключить: в областях (зонах) с повышенными (по сравнению со средними) значениями горизонтального градиента температуры (в общем случае – виртуальной) бароклинные члены играют определяющую роль в зарождении синоптических вихрей. Эта роль остается значительной и в последующем развитии их.

Отметим, что бароклиный фактор оказывает влияние на образование и эволюцию потенциального вихря (Г. Эргель), а также на осредненное по вертикали движение атмосферы (М. Д. Алишаев).

Введение и использование изобарической системы координат – наиболее крупные парадокс и ошибка второй половины 20 века.

2. К числу парадоксов относится длительное время сохраняющееся мнение об образовании глаза тропического циклона (урагана) под влиянием нисходящего движения центральной части его. Качественно-физический анализ и оценка физического фактора (ФАО, 2000, № 6), а также результаты численного моделирования (многими исследователями) позволяют заключить: в центральной части урагана – движение воздуха – восходящее.

3. Широко распространено представление об определяющей роли радиационно-термического фактора в образовании конвективных облаков и ливневых осадков. В действительности вклад этого фактора в формирование кучево-дождевых облаков и ливневых осадков не превышает 10 %, кучевых облаков – 30 – 40 %.

Основную роль в образовании всех облаков играют динамические факторы – вертикальное движения синоптического масштаба, распределение скорости их с высотой и изменение вертикального градиента температуры во времени. Значительна роль турбулентного обмена по горизонтали и вертикали.

4. Динамические же факторы определяют суточные и годовые колебания облаков и осадков. Максимум осадков летом и минимум зимой – следствие преобладания циклонов на суше летом и антициклонов зимой.

5. Проблема моделирования и прогноза погоды и климата настолько сложна, что многие процессы и явления и сегодня можно истолковать и спрогнозировать лишь на качественно-физическом уровне.

Во всяком случае, за прошедшие 40 лет использования ЭВМ значительного увеличения оправдываемости прогнозов погоды не произошло.

6. Каково состояние численных прогнозов на сегодня, свидетельствуют только что опубликованные (Метеорология и гидрология, 2002, № 8) результаты проверки (Центральной методической комиссией по гидрометпрогнозам) прогнозов погоды по территории Московской области на 36 часов, разработанных в Гидрометцентре РФ и реализованных на супер-ЭВМ «Грей» (шаги сетки: 10 км по горизонтали и меняющийся от 2 м до 1300 м по вертикали; при пяти уровнях в почве). Получено: по исходным данным за 12 часов оправдываемость погоды не достигла инерционных, по данным за 00 часов – несколько превысила инерционные.

Оправдываемость прогнозов образования синоптических вихрей остается на уровне 70 – 80 % (по данным, полученным через Интернет).

УДК 551.501+551.508

И. Г. Михалев, студ., В. В. Чукин, докторант

О МЕХАНИЗМЕ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ДВИЖЕНИЯХ

Известно, что заряженные частицы притягивают к себе частицы противоположного знака и отталкивают частицы одноименного знака,

т. е. создают электрическое поле вокруг себя. Сила притяжения или отталкивания убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от заряженной частицы:

$$E = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}, \quad (1)$$

где $\tilde{E}$ напряженность электрического поля, В/м; $\tilde{q}$ заряд частицы, Кл; ϵ_0 диэлектрическая проницаемость вакуума, равная $0,885 \cdot 10^{-11}$ Ф/м; r расстояние от центра частицы, м.

При движении заряженной частицы с постоянной скоростью V напряженность создаваемого частицей электрического поля E увеличивается и, кроме того, создается постоянное магнитное поле с напряженностью H . При движении заряженной частицы с переменной скоростью, т. е. с ускорением a , создаются переменные электрические и магнитные поля.

Полное описание электромагнитного поля, создаваемого движущейся заряженной частицей получено Герцем. В сферической системе координат компоненты поля имеют вид:

$$E_r = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \left(\frac{q}{r^2} + \frac{2 \cdot q \cdot V}{c \cdot r^2} \right) \cdot \cos \theta, \quad (2)$$

$$E_\theta = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \left(\frac{q}{r^2} + \frac{q \cdot V}{c \cdot r^2} + \frac{q \cdot a}{c^2 \cdot r} \right) \cdot \sin \theta, \quad (3)$$

$$H_\phi = \frac{1}{4\pi \cdot \mu'} \cdot \left(\frac{q \cdot V}{c \cdot r^2} + \frac{q \cdot a}{c^2 \cdot r} \right) \cdot \sin \theta, \quad (4)$$

где $\tilde{c}$ скорость света в вакууме, равная 299792458 м/с; μ' относительная магнитная проницаемость атмосферы, примерно равная 1.

С использованием типичных значений числа заряженных частиц и скоростей крупномасштабных атмосферных движений получены оценки создаваемой напряженности электрического и магнитного поля.

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ КУЧЕВО-ДОЖДЕВЫХ ОБЛАКОВ ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАТОРОВ

Использование данных радиолокационной отражаемости на разных уровнях, полученных с помощью автоматизированного метеорологического радиолокационного комплекса (АМРК) и модельных расчетов, позволили получить характеристики максимальной напряженности электрических полей и плотности распределения зарядов в кучево-дождевых облаках.

По результатам обработки 60 не грозовых и 50 грозовых наблюдений с дискретностью 10 минут была рассчитана максимальная напряженность электрических полей при переходе ливневых осадков к ливням с грозой. При этом было проведено сопоставление расчетных электрических характеристик кучево-дождевых облаков с данными метеостанции о ливнях и грозах.

Расчет максимальной напряженности электрических полей проводился с использованием горизонтальных и вертикальных градиентов радиолокационной отражаемости на уровнях, где наблюдались максимальные значения отражаемости.

После обработки, сопоставления и анализа всех полученных данных были определены пороговые значения максимальной напряженности электрического поля при переходе от ливней к ливням с грозой. Пороговое значение максимальной напряженности электрического поля составляло 300 кВ/м по вертикальному и 150 кВ/м по горизонтальному градиентам радиолокационной отражаемости. При максимальной напряженности электрического поля выше 300 кВ/м ливней не наблюдалось.

По данным 77 наблюдений радиолокационной отражаемости в ячейках 4x4 км и расчетам максимальной напряженности электрического поля были проанализированы грозовые грозоградовые процессы в кучево-дождевых облаках с интервалом 10 мин.

Пороговое значение максимальной напряженности электрического поля, рассчитанное по вертикальному градиенту, составляло 3100 кВ/м, а для расчета по горизонтальному градиенту – 2400 кВ/м.

Таким образом разделение ливней и гроз, грозových и градовых облаков возможно не только по пороговым и статистическим критериям опасных явлений, но и с использованием пороговых значений максимальной напряженности электрического поля кучево-дождевых облаков.

УДК 551.511.33

И. В. Розанова, асп.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОВ ДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ В ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ

Если рассматривать средние за месяц карты приземного давления на Земле, то очень четко на них проявляются области хорошо выраженного низкого и высокого давления. В Северном полушарии это Исландский и Алеутский минимумы давления, Азорский, Гондольский и Сибирский максимумы давления. В Южном полушарии, вокруг всего Антарктического континента, простирается обширная зона низкого давления, ось которой располагается между 60° ю.ш. и берегом материка. В пределах этой зоны наиболее часто выделяется также три области наиболее низкого давления, приуроченные к одному из трех секторов Южного океана: атлантическому, индоокеанскому и тихоокеанскому. Все такие области, представляющие собой квазистационарные барические системы, принято в настоящее время называть центрами действия атмосферы.

Исследование динамики характеристик центров действия атмосферы (давление в центре и географическое положение центра) показало, что они тесно связаны с климатическими вариациями в регионах их расположения и, более того, положение и интенсивность центров действия определяют тип и интенсивность циркуляции атмосферы в регионе. Наиболее полно это показано на результатах исследования центров действия атмосферы в Северной Атлантике. Поэтому нам представилось очень важным проанализировать сезонную динамику циклонических центров действия атмосферы в Южной полярной области.

В качестве исходного материала для определения характеристик центров действия атмосферы использован архив среднемесяч-

ных карт приземного давления в Южной полярной области созданный в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте с 1957 по 2000 год включительно. В результате исследования были сделаны следующие выводы.

Наиболее ослаблены циклонические центры действия атмосферы в Южном полушарии и максимально смещены к северу и западу в январе. Второе менее выраженное ослабление давления и смещение к западу и более выраженное смещение к северу наблюдается в июне. Максимальное углубление центров действия и смещение их к югу и востоку наблюдается в октябре и менее выраженное — в марте.

Сравнение закономерностей сезонной динамики характеристик стационарных депрессий Южного полушария с их аналогами в Северном полушарии показывает следующее:

- Выраженность полугодовой гармоник по отношению к годовой у характеристик циклонических центров Южного полушария заметно выше. Это связано с тем, что амплитуды годовой волны в изменениях всех характеристик депрессий Южного полушария меньше в 2 – 3 раза по отношению к амплитудам годовой волны в изменениях соответствующих характеристик их северных аналогов.

- Фазы как годовой, так и полугодовой волн в сезонных изменениях давления северных и южных депрессий противоположны, что является следствием противоположности сезонов года всех гидрометеорологических процессов в Южном полушарии по отношению к Северному полушарию.

- В изменениях широты наблюдается удивительная синхронность у южных и северных депрессий. Их смещения к полюсам и обратно происходят одновременно.

- В изменениях долготы центров действия атмосферы наблюдается асинфазность в годовой волне и совпадение фаз в полугодовой. Когда южные депрессии в годовой волне смещаются к востоку, северные имеют тенденцию смещаться к западу, и наоборот. В полугодовой волне происходит одновременное смещение всех циклонических центров действия или к западу, или к востоку.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ С УЧЕТОМ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ЗЕМЛИ

В докладе рассматриваются вопросы корректного учета неоднородного поля силы тяжести (СТ) гидродинамических неадиабатических моделях атмосферы (в мезомасштабной модели тропических циклонов (ТЦ) и крупномасштабной полусферной модели).

При разработке моделей, особенно крупномасштабной, наряду с построением устойчивых, согласованных и сходящихся схем численного интегрирования уравнений, а также параметризаций физических процессов подсеточного масштаба, большое внимание уделялось корректному учету неоднородного поля гравитации и центробежной силы вращения Земли.

Исследование результатов крупномасштабного моделирования, в том числе с применением теории чувствительности, показало важную роль учета неоднородности СТ степени согласованности применяющихся систем отсчета структуры гравитационного поля земли, ее форме, а также орографии. Наилучшие результаты моделирования были достигнуты с помощью модели построенной в эллипсоидальной (геопотенциальной) геоцентрической системе отсчета с σ - вертикальной координатой. В этой системе отсчета координатные поверхности совпадают с поверхностями равных значений нормального поля СТ (геодезическими поверхностями), направление вектора СТ совпадает с вертикальной координатой, а тангенциальные компоненты СТ являются касательными к геодезическим поверхностям.

В процессе исследований показано, что квазистатическое приближение в целом ухудшает результаты моделирования гравитационных эффектов.

ТРЕХМЕРНАЯ ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ОБЛАЧНОЙ КОНВЕКЦИИ С ПАРАМЕТРИЗОВАННОЙ МИКРОФИЗИКОЙ

Применительно к задачам исследования градовых процессов, дается описание трехмерной нестационарной гидротермодинамиче-

ской модели мощного конвективного трехфазного облака с параметризацией фазовых переходов воды. Модель позволяет изучать структуру полей различных характеристик в конвективном облаке на разных стадиях его эволюции.

Гидротермодинамический блок модели представлен системой уравнений Навье-Стокса в приближении Буссинеста глубокой конвекции, уравнением непрерывности с учетом гидростатической сжимаемости воздуха и уравнением переноса для возмущения температуры. Микрофизические процессы, в рассматриваемой модели, учитываются с помощью параметризованного описания фазовых переходов воды, впервые предложенного Кесслером и развитого затем многими исследователями. Водная субстанция идеализирована разбиением на пять фазовых компонент – водяной пар, облачные и дождевые капли, облачные кристаллы и град. Все гидрометеоры предполагаются распределенными по размерам в соответствии с формулами двухпараметрических гамма-распределений, общий вид которых не меняется в пространстве (меняется лишь значение параметра). Параметризация микрофизических процессов основана на использовании девяти уравнений переноса для полей массовых долей влажности, водности, ледности и счетных концентраций жидких и кристаллических облачных частиц и частиц остатков. В источниковых и стоковых членах этих уравнений учитываются микрофизические процессы: нуклеация облачных капель и кристаллов на ядрах конденсации и кристаллизации; их автоконверсия и гравитационная коагуляция с дождевыми каплями и градом; спонтанное гетерогенное замерзание капель на активных ядрах кристаллизации и их контактное замерзание при коагуляции с кристаллами; таяние замерзших частиц при попадании в зону положительных температур облака; дробление дождевых капель и кристаллов и ряд других процессов. Описанный микрофизический блок позволяет рассматривать в параметризованном виде весь комплекс фазовых процессов в облаках, включая стадии формирования и выпадение в осадки.

Численное интегрирование уравнений гидротермодинамики осуществляется с использованием явной разностной схемы Мак-Кормака второго порядка точности и итерационного метода ПВР для решения уравнения Пуассона для давления с граничными условиями Неймана, применение которых позволяет получать устойчивое решение на достаточно больших временах физического процесса. Уравнения переноса для микрофизических характеристик решаются с использованием гиб-

ридных монотонных схем с нелинейными переключателями, позволяющих обеспечить положительную определенность решений по отношению к конвективному и диффузионному операторам.

Настоящая модель использует в качестве начальных и граничных данных информацию, полученную при радиозондировании атмосферы. Это дает возможность учитывать регенерационное перемещение облака в поле переменного ветра, возможное вращение восходящего потока, обратной связи между полями осадков и структурой течений. В модели рассчитываются поля РЛО, интенсивности осадков и кинетической энергии града на земле — параметры, непосредственно измеряемые при исследовании реальных градовых процессов. В качестве иллюстрации приводятся результаты расчетов структур течений, полученных с помощью динамического блока и распределений полей водности, ледности, концентраций капель и кристаллов в развивающемся конвективном облаке. Предварительные расчеты выполнялись для стилизованных условий развития конвекций. Анализ результатов этих расчетов позволил выявить границы применимости модели и ее адекватность моделируемому процессом. Сопоставление рассчитанных и наблюдаемых значений параметров показывает, что модель воспроизводит основные характерные черты полей радиоэха, интенсивности градобитий и их трансформаций в результате воздействий.

От существующих пространственных численных моделей облачной конвекции данная модель отличается учетом двухмерного сдвига ветра, более детальной параметризацией микрофизических процессов, а также методами численной реализации.

УДК 504.054

Э. Л. Поташник, доц., Т. Б. Ли, асп.

АНАЛИТИКО-ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ОБЛАСТЯХ МЕЗО- И РЕГИОНАЛЬНОГО МАСШТАБА

Для решения задач охраны окружающей среды в областях, мезо- и регионального масштаба предлагается математическая модель, которая получила название аналитико-численной модели, поскольку основана на аналитическом методе решения с численной реализацией полученных формул на ЭВМ. Данная модель лишена некоторых не-

достатков, характерных для численных моделей, использующих конечно-разностные схемы.

Система уравнений для j -х компонент примесей $C^j(x, y, z, t)$ ($j=1 \dots JM$) в октанте пространства $x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0$, описывающих нестационарный конвективно-диффузионный перенос ЗВ над плоской горизонтально-однородной поверхностью земли в плоскопараллельном потоке воздуха с вектором скорости ветра, являющимся кусочно-постоянной функцией времени, имеет вид:

$$\frac{\partial C^j(x, y, z, t)}{\partial t} + U \frac{\partial C^j}{\partial x} + V \frac{\partial C^j}{\partial y} + (W - V_g^j) \frac{\partial C^j}{\partial z} + \alpha_{V^{j, sum}} C^j = v_x \frac{\partial^2 C^j}{\partial x^2} + v_y \frac{\partial^2 C^j}{\partial y^2} + v_z \frac{\partial^2 C^j}{\partial z^2} + f_V^j(x, y, z, t), \quad (1)$$

где $(x, y, z > 0, t > 0)$

1) Начальные условия: $t=0$

$$C^j(x, y, z, 0) = \phi_0^j(x, y, z), \quad (x, y, z \geq 0); \quad (2)$$

2) Граничные условия:

$$a) \quad x, y, z \rightarrow +\infty \quad C^j(x, y, z, t) \Big|_{x, y, z \rightarrow \infty} \rightarrow 0; \quad (3)$$

$$b) \quad x=0 \quad C^j(0, y, z, t) = \phi_{bx}^j(y, z, t); \quad (4)$$

$$c) \quad y=0 \quad C^j(x, 0, z, t) = \phi_{by}^j(x, z, t); \quad (5)$$

$$d) \quad z=0 \quad \frac{\partial C^j(x, y, 0, t)}{\partial z} - h^j(x, y) C^j(x, y, 0, t) = -\frac{1}{v_z} Q_s^j(x, y, t), \quad (6)$$

где

$$h^j(x, y) = \frac{\beta^j(x, y) + \alpha_s^{j, CR} - V_g^j}{v_z} \quad (7)$$

В уравнениях (1) – (7) использованы обозначения: x, y, z – оси декартовой системы координат; t – время; C^j [кг/м³] – удельная объемная

концентрация j -го загрязняющего вещества; $U, V, W - V_g^j$ – компоненты вектора скорости ветра вдоль осей x, y, z , V_g^j – скорость гравитационного оседания аэрозольных (пылевых) частиц; v_x, v_y, v_z – горизонтальные и вертикальная компоненты симметричного тензора коэффициентов турбулентной диффузии, приведенного к главным осям; $\alpha_V^{j,SUM} = \alpha_V^{j,CR} + \alpha_V^{j,WASH}$, где $\alpha_S^{j,CR}, \alpha_V^{j,CR}, \alpha_V^{j,WASH}$ – коэффициенты, определяющие изменение концентрации за счет химических превращений j -й примеси в объеме воздуха или на поверхности земли и за счет вымывания осадками, $f_v^j(x, y, z, t)$ – объемные источники загрязнения, $H(x, y)$ – относительный коэффициент массообмена на земной поверхности; $\Phi_{bx}^j(y, z, t), \Phi_{by}^j(x, z, t), Q_S^j(x, y, t)$ [кг/м²с] – описание фоновых распределений полей и площадных источников на земной поверхности.

Аналитического решение задачи с неоднородными граничными и начальными условиями находится с помощью решения вспомогательной задачи с однородными граничными условиями и мгновенными точечными источниками единичной мощности с использованием функции Грина (G), интегральное представление которой имеет вид:

$$C(M, t) = J_0(M, t) + J_s(M, t) + J_v(M, t),$$

где интегралы $J_0(M, t), J_s(M, t), J_v(M, t)$ отражают влияние на решение конвективно-диффузионной задачи начальных, граничных условий и объемных точечных и распределённых источников.

$$J_0(M, t) = \iiint_{(\Omega)} \phi_0(P') G(M|P', t - \tau) \Big|_{\tau=0} dV_{P'};$$

$$J_s(M, t) = v_j \int_0^t d\tau \int_S \left[G \frac{\partial C}{\partial n_{P'}} - C \frac{\partial G}{\partial n_{P'}} \right] \Big|_{P' \in S} ds_{P'}$$

$$J_v(M, t) = \int_0^t d\tau \iiint_{(\Omega)} f_v(P', \tau) G(M|P', t - \tau) dV_{P'}.$$

Трёхмерную функцию Грина $G(x; y; z; x', y', z', t - \tau)$ представим в виде произведения трех одномерных

$$G(x, y, z; x', y', z', t - \tau) = G_1(x, x', t - \tau) G_2(y, y', t - \tau) G_3(z, z', t - \tau),$$

которые имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} G_1(x, x', t - \tau) = \\ = \frac{1}{2\sqrt{\pi v_x(t - \tau)}} \exp\left[-\frac{\alpha_w}{3}(t - \tau)\right] \cdot \exp\left[\frac{U(x - x')}{2v_x} - \frac{U^2(t - \tau)}{4v_x}\right] \\ \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(x - x')^2}{4v_x(t - \tau)}\right] - \exp\left[-\frac{(x + x')^2}{4v_x(t - \tau)}\right] \right\}, \end{aligned}$$

$G_2(y, y', t - \tau)$ — аналогична $G_1(x, x', t - \tau)$ только с заменой x на y ,

$$\begin{aligned} G_3(z, z', t - \tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi v_z(t - \tau)}} \exp\left[-\frac{\alpha_w}{3}(t - \tau)\right] * \\ * \exp\left[\frac{Vg(z' - z)}{2v_z} - \frac{Vg^2(t - \tau)}{4v_z}\right] * \\ * \left\{ \exp\left[-\frac{(z' - z)^2}{4v_z(t - \tau)}\right] - \exp\left[-\frac{(z' + z)^2}{4v_z(t - \tau)}\right] - \right. \\ \left. - \left(\frac{2\beta abs - V_g^j}{v_z}\right) \cdot \int_0^\infty \exp\left[-\frac{(z + z' + \eta)^2}{4v_z(t - \tau)} - \left(\frac{2\beta abs - V_g^j}{2v_z}\right)\eta\right] d\eta \right\} \end{aligned}$$

Полученные данные могут быть использованы для оценки оптимальности размещения проектируемых народнохозяйственных объектов с точки зрения снижения влияния загрязнения на определенные участки земной поверхности; для определения границ санитарных зон, проведения экспертизы атмосфероохранных мероприятий и многих других, полезных для практики целей.

В докладе приводятся некоторые результаты, полученные с помощью модели.

СРАВНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ ДЛЯ СТРАН МИРА С ПОМОЩЬЮ ИНДЕКСА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ

Сложившийся уровень безопасности условий проживания характеризуется наличием медленно нарастающих негативных процессов (экологических и социальных), способных со временем привести к взрывам, а также увеличением риска возникновения возможных катастроф (природных и техногенных). Частое появление в средствах массовой информации сведений о возникновении природных катастроф или стихийных бедствий создают иллюзию хорошей фактографической изученности опасных явлений природы. Однако реальный объем имеющихся конкретных сведений о характеристиках опасных явлений погоды и их последствий для регионов далек от необходимого в практике управления уровнем. Это в большой степени связано с отсутствием единого метода оценки потенциальной опасности для территорий.

В результате специально проведенной научно-методической работы был создан и апробирован индекс потенциальных потерь (IS). Он рассчитывается для территории в 1000 км^2 и промежутка времени 1 год по отношению к стране с таким индексом потерь за счет естественных процессов, которые равносильны по величине потерям на Титанике (1500 ли/катастрофу). Формула расчета имеет вид:

$$IS = \lg\{\alpha_{s0} \rho_c [\alpha_{c0}/\alpha_{s0} + 1/(46p) B/B_0] (S_0 \tau_0/1500)\} + \lg(S/S_0) + \lg(\tau/\tau_0) + \lg E.$$

Вклады различных компонент в значения IS показаны с помощью таблицы. Она построена по экономическим и демографическим данным путем разбиения всех стран мира по значениям IS на три группы, содержащие очень близкое число членов. В первую группу отнесены государства, для которых IS оказался меньше -0.5. В этих странах возможные потери в случае возникновения природных катастроф должны быть самыми малыми. Интересно, что в эту группу попала и страна с суровыми природными условиями (Гренландия) и страна с очень высоким показателем экономического развития (Австралия).

Варианты расчета	$1+B/V_0$	ВВП на 1 чел в год	Смерт- ность	Плотность населения (тыс. чел /1000км ²)	Значе- ния ин- декса	Страна, подхо- дящая по ВВП и IS
По всем случаям						
Минимум	1.005	141	1.8	0.026	-3.48	Гренландия
Максимум	1.932	25641	47.3	889.5	0.97	Бельгия
Среднее $IS < -0.5$	1.21	5767	9.6	114.1	-0.28	Эстония
Минимум	1.013	355	3.5	0.026	-3.48	Гренландия
Максимум	1.818	22500	47.3	66.9	-0.51	ОАЭ
Среднее	1.146	4025	9.9	17.6	-1.01	Габон
$10.03 > IS < -0.5$						
Минимум	1.005	141	1.8	11.2	-0.5	Тунис
Максимум	1.932	25641	19.3	326.7	0.02	Ирландия
Среднее	1.169	4657	9.6	78.4	-0.22	Свазиленд
$IS > 0.03$						
Минимум	1.008	235	3.3	78.1	0.03	Нигерия
Максимум	1.887	24390	24	889.5	0.97	Бельгия
Среднее	1.324	8910	9.4	259.7	0.45	Ливан

Вторая группа объединяет страны со средним значением IS близким к нулю. Это не будет удивлять, если учесть, что 1000 км² – это площадь большого города, на которой, скажем, в Бельгии проживает почти по 900000 человек, что при смертности 10 ЛИ на тысячу человек в год дает 9000 умерших. Ко второй группе относятся США ($IS = -0.07$) и Китай ($IS = -0.05$). Данные о потерях от природных катастроф для стран, входящих в эту группу, особенно важны с научной точки зрения, так как они в минимальной степени подвержены искажениям за счет

демографических и экономических факторов. Однако наиболее близкими к средним условиям по ВВП на душу населения и по демографическим характеристикам в этой группе оказываются такие страны, как Алжир и Свазиленд.

Наибольшие значения *IS* приходится на страны третьей группы. Интересно, что в эту группу наряду с Бангладеш, Индией и Пакистаном, вошла Япония и страны Западной Европы. Объединение в одной группе стран с такими различными экономическими характеристиками, с одной стороны, показывает, что важнейшим фактором опасности природных катастроф является высокая концентрация населения в районе ОЯП. С другой стороны, понятно, что бедствия, которые почти ежегодно посещают Бангладеш, могли бы в Западной Европе привести к еще более масштабным потерям. Так что население этого региона может оказаться очень чувствительным к изменению риска ОЯП. Но и для Бангладеш можно сделать полезные выводы. При катастрофах в Западной Европе почти не бывает людских потерь. Это значит, что потери людей могут быть резко сокращены, если правительства стран анализируемой группы будут жестко ориентированы на постоянные меры безопасности для жизнедеятельности людей.

В целом индекс потенциальных потерь хорошо учитывает экономические и демографические особенности страны. Он показывает также, что с точки зрения геофизики следует большое внимание уделить статистике площадей, продолжительностей и интенсивностей природных катастроф. Этих данных крайне мало, а надежность их, по политическим мотивам, весьма сомнительна.

УДК 551.510.534

С. П. Смышляев, докторант

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ РОЛИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ НАБЛЮДАЕМОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА

Предмет исследования: Атмосферный озон в нижней и средней атмосфере (0-90 км).

Цель: Исследование долгопериодных (30 лет) трендов атмосферного озона с одновременным использованием результатов измерений и теоретических представлений.

Метод: Фотохимическое моделирование с пошаговой ассимиляцией данных измерений.

Данные: The Stratospheric Aerosol and Gas Experiment (SAGE) I (1979-1984) and II (1985-1995).

Модель: Разработанная в РГТМУ при участии State University of New York двумерная фотохимическая модель (SUNY_SPB Model).

Изучались следующие факторы долгопериодной изменчивости озона в атмосфере:

1. Естественные

- Изменение солнечной активности (11-летний цикл; 27-дневный цикл)
- Вулканические выбросы сульфатного аэрозоля;
- Изменение параметров циркуляции (двизидвухлетние осцилляции, явление Эль-Ниньо)

2. Антропогенные

- Промышленные и бытовые выбросы хлорфторуглеродов (фреонов) и галонов
- Самолетные выбросы в тропосферу и стратосферу;
- Изменения климата

Результаты проведенных экспериментов показали, долгопериодная изменчивость атмосферного озона в течение 1970 – 2000 гг. формировалась главным образом в результате изменения солнечной активности, вулканических выбросов аэрозоля и промышленных выбросов фреонов и галонов. Роль этих факторов примерно равнозначна на всем исследуемом временном интервале, с доминирующей ролью вулканических выбросов в периоды крупных извержений и сравнимым влиянием солнечной активности в периоды ее быстрого изменения. Отмечена различная роль различных факторов в северном и южном полушариях Земли: в северном полушарии важна роль вулканов и промышленных выбросов, а в южном полушарии существенную роль играет изменение циркуляционных параметров атмосферы.

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ ЕСТЕСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА РАЗЛИЧНЫХ ПАРАЛЛЕЛЯХ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

Вейвлет-анализ временных метеорологических последовательностей схож с Фурье-анализом, так как и в том и в другом случае процесс представляется линейной комбинацией базисных функций. В Фурье-анализе базисной функцией является синусоидальная волна, а в вейвлет-анализе – базисные вейвлеты и их сдвиги.

В данной работе исследуются временные последовательности первых коэффициентов разложения среднемесячной температуры воздуха в Северном полушарии по эмпирическим ортогональным функциям (ЭОФ) для параллелей 60°, 40° и 20° за период с 1891 по 1992 годы. Названные коэффициенты разложения содержат информацию об эволюции наиболее крупномасштабных в пространственном отношении естественных колебаниях (ЕК), несущих максимальную дисперсионную нагрузку.

В качестве базисных вейвлетов использовались вейвлет Morlet, вейвлет Paul и DOG-вейвлет. Масштаб по времени выбирался таким образом, чтобы он удовлетворял всем вейвлетам, максимально возможные масштабы которых вычисляются по формуле

$$j_{tot}=1+(\log_2(n*dt/so))/dj$$

и равны соответственно 83, 99 и 75.

Анализ вейвлет-портретов первого ЕК для широты $\phi=60^\circ$ показал:

- оптимальный временной масштаб вейвлетов Paul и Morlet составлял 57, а DOG-вейвлета – 47;
- практически во все годы (1891 – 1992гг) наблюдаются колебания с периодами 3 месяца (с максимумом амплитуды в 1967 году), около года (наибольшая амплитуда – в 1920 – 1925гг.) и 4 – 6 лет, (амплитуда этих колебаний незначительна);
- начиная с 1980 года, наблюдаются максимальные периоды колебаний с периодом 5 лет и 84 года.

Аналогичный анализ, проведенный для $\varphi=40^\circ$, показал:

- в 1915, 1945 – 47, 1985 годах наличие колебания с минимальным периодом, равным 3 месяца;
- колебания с периодом около года наблюдаются практически во все годы, причем наиболее сильные - начиная с 1945 года. Максимум амплитуды приходится на 1972 – 75 годы;
- в 1982 – 87 годах наблюдаются значительные колебания с периодом до 18 лет;
- периоды наиболее значимых колебаний составляют 3, 12 месяцев и 84 года.

Из анализа вейвлет-портретов для $\varphi=20^\circ$ следует:

- наиболее мощные колебания наблюдаются начиная с 1970-х годов, что, возможно, связано с интенсификацией такого глобального климатообразующего фактора, как Эль-Ниньо, откликом которого был ряд катастрофических засух, например, в зоне Сахеля, и иссушение климата в Африке;
- период колебаний оказался равным не менее 4 – 5 месяцев, причем при уменьшении масштаба по времени до 47 – 40 колебаний с периодом менее 4 – 5 – месяцев не наблюдается;
- в 1972 году и 1982 – 85 гг. амплитуды колебаний с периодом немного более года максимальны. Значительные колебания с периодом около 16 лет выявлены в 1985 – 1990 гг. и менее интенсивные в 1935 – 40 гг.;
- периоды наиболее значимых колебаний в тропиках составляют 5 месяцев, 17 и 84 года.

УДК 551.1+681.3.01

*А. С. Федотов, студ., М. О. Фоменко, студ.,
В. В. Чукин, докторант*

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ БАЗЕ ДАННЫХ

В процессе наблюдений за состоянием атмосферы измеряются различные параметры (температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление, количество и форма облаков, радиолокационная отражаемость и яркостная температура обла-

ков, интенсивность осадков). Наблюдения производятся с поверхности Земли, шаров-зондов, самолетов, ракет и искусственных спутников Земли, как визуально, так и инструментально, причем принцип действия и характеристики измерительных систем могут быть совершенно различными. Эти различия находят свое отражение в различных форматах передачи данных о параметрах атмосферы. В этих условиях встает задача разработки единого формата хранения информации о состоянии атмосферы в создаваемой геофизической базе данных. В основе единого формата лежит пространственная и временная привязка информации, т. е. каждому значению измеренного параметра (температуре, влажности или иному) присваиваются значения широты и долготы места, высоты, а также момента времени. Кроме указанных характеристик, значению параметра присваиваются дополнительные характеристики, такие как пространственно-временной объем и характеристика значения параметра (минимальное, максимальное, среднее, мгновенное), тип системы координат и начало отсчета, информация о времени внесения информации в базу данных, первичный источник и характер информации, а также информация о месте и средствах наблюдений.

Для хранения информации используется реляционная структура базы данных, в соответствии с которой информация хранится в отдельных таблицах, связанных друг с другом посредством ссылок из одной таблицы на записи в другой таблице (реляционных связей).

Использование описанного формата хранения информации требует применения средств хранения данных (накопителей на жестком магнитном диске и др.) значительных объемов. Однако, подобная структурированная запись поддается эффективному сжатию с помощью стандартных программ архивации данных. Сравнение объема хранимой информации о метеорологических наблюдениях на одной станции за 100 лет показывают, что в случае использования не реляционной структуры базы данных объем информации составляет около 10 Мбайт, в случае реляционной структуры без сжатия — около 45 Мбайт, а с использованием сжатия — около 1,5 Мбайт. Из сравнения видно, что предложенная реляционная структура со сжатием информации предпочтительна с точки зрения занимаемого объема пространства на носителе информации и с точки зрения полноты сопроводительной информации.

ДЕСКРИПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПОГОДО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО РЕГЛАМЕНТА

Технологическое развитие производства, усугубившее зависимость хозяйственной деятельности от влияния гидрометеорологической среды, растущая агрессивность погодных условий заставляют осознать экономическую необходимость использования метеорологической информации, особенно прогнозов погоды. Согласно данным ВНИИГМИ МЦД по изучению спроса потребителей на гидрометеорологическую информацию в России 65,5 % всех запросов приходится на метеорологическую информацию, в частности на прогнозы погоды. Однако экономическая полезность прогностической информации заключается не только в высокой степени ее достоверности, но и в технологии использования этой информации потребителем.

Прогностическая информация используется потребителем для планирования производственной деятельности в соответствии с ожидаемой погодой. В настоящее время, подавляющее большинство потребителей используют прогнозы по принципу простой альтернативы, принимая в качестве пороговых те значения метеорологических элементов, при которых необходимо приостанавливать производственные процессы. Данная схема использования прогнозов соответствует минимальному уровню их полезности и показывает необходимость разработки многофазового регламента действий потребителя, позволяющего оптимизировать использование прогнозов погоды.

В рамках экономической метеорологии проводятся исследования математических моделей, позволяющих оптимизировать использование метеорологической информации, однако на сегодняшний день нет достаточно полной ясности в отношении разработки оптимального погодо-хозяйственного регламента потребителя. Решение проблемы может быть найдено при помощи дескриптивного экономико-метеорологического моделирования.

Дескриптивные модели создают определенную область допущений и ограничений, что позволяет выстроить приближенные

схемы, содержащие качественные оценки. Допустимая схематизация, при этом, не утрачивает научной обоснованности и удовлетворяет требованиям практической реализации модели.

Разработка оптимального погодо-хозяйственного регламента основывается на следующих положениях:

1. Исследуется зависимость хозяйственной деятельности потребителя от погодных условий. В соответствии с воздействующим метеорологическим фактором определяется число погодо-хозяйственных решений d и разрабатывается многофазовая матрица потерь $\|S_{ij}\|$.

2. Выполняется обобщение прогностической информации в виде матриц сопряженности методических и инерционных прогнозов $\|n_{ij}\|_m$ и $\|n_{ij}\|_{ин}$ цн, в которых отражается степень адекватности прогноза и факта ($\Pi_j \sim \Phi_j$).

3. Разрабатывается матрица систематических потерь, элементы которой $\bar{R}_{kj}$ представляют собой средние потери потребителя, при условии, что потребитель вправе выбрать ориентацию d_k на любую иную погоду, получив текст прогноза Π_j .

$$\bar{R}_{kj} = \sum_{i=1}^m S_{ki} \cdot q_{ij}.$$

Выбор оптимального погодо-хозяйственного решения, а также прогностического подхода, устанавливается согласно условию:

$$R_{онм} = \min_{\langle S \rangle} \bar{R}$$

Отказ от альтернативной схемы использования прогнозов и переход к многофазовому погодо-хозяйственному регламенту позволит потребителю значительно снизить потери по метеорологическим причинам, используя информационный потенциал гидрометеорологических прогнозов.

О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ ГЕНЕРАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЛАКАМИ В КНЧ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

В процессе развития облаков в атмосфере происходит генерация инфразвуковых колебаний давления [1]. Основным механизмом генерации инфразвука в условиях ясного неба является атмосферная турбулентность. При развитии процессов, связанных с образованием облаков, т. е. капель и кристаллов, основным механизмом генерации инфразвука, по-видимому, являются флуктуации тепловыделения при конденсации (сублимации) водяного пара [2, 3]. При этом происходит не только генерация, но и усиление существующих колебаний в определенном диапазоне частот. По результатам моделирования [3] значение резонансной частоты может быть около 10 Гц.

Инфразвуковые флуктуации атмосферного давления могут быть зарегистрированы с помощью микробарографов с чувствительностью не хуже 0,001 гПа [3].

Поскольку в атмосфере на всех высотах имеется значительное число ионизированных частиц — ионов (порядка 10^9 м^{-3}), то флуктуации атмосферного давления приводят к флуктуациям концентрации ионов, и как следствие, к флуктуациям электрического и магнитного поля, создаваемого ионами.

Действительно, в работе [4] представлены результаты измерений флуктуаций электрического поля атмосферы, обусловленных атмосферной турбулентностью.

Результаты регистрации флуктуаций электрического и магнитного поля с частотой около 10 Гц описаны в работах [5, 6, 7]. В работе [7] отмечено увеличение интенсивности флуктуаций магнитного поля при приближении циклона, т. е. значительного числа капель воды и кристаллов льда, генерирующих инфразвуковые колебания. Увеличение флуктуаций магнитного поля отмечалось с заблаговременностью около 24 часов. При этом в работе [3] отмечается, что инфразвуковые колебания в пункте наблюдения могут начинаться за 5–28 часов до начала понижения давления, связанного с приближением циклона.

Из сравнения результатов рассмотренных исследований можно предположить, что именно флуктуации давления, обусловленные выделением скрытой теплоты конденсации (сублимации), могут приводить к генерации электромагнитных полей в диапазоне крайне низких частот (КНЧ).

Литература

1. Госсард Э., Хук У. Волны в атмосфере. — М.: Мир, 1978. — 532 с.
2. Немцов Б. Е. Когерентный механизм усиления звука при конденсации пара // Докл. АН СССР. — 1990. — Т. 314, №2. — С. 355–358.
3. Нетреба С. Н. Механизм генерации и усиления инфразвука при атмосферной конденсации // Вопросы физики атмосферы. — СПб.: Гидрометеиздат, 1998. — С. 443–466.
4. Филлипов А. Х., Шаманский Ю. В. Статистическая структура вариаций напряженности электрического поля атмосферы // Атмосферное электричество. Труды III Всесоюзного симпозиума. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — С. 22–25.
5. Эненштейн Б. С., Аронов Л. Б. Экспериментальные исследования естественного электромагнитного поля Земли в спектре частот от 2 до 300 Гц // Изв. АН СССР, сер. геофиз. — 1957. — №1. — С. 62–70.
6. Клейменова Н. Г. Современные представления о природе высокочастотных вариаций электромагнитного поля Земли (1 Гц – 1 кГц) // Изв. АН СССР, сер. геофиз. — 1963. — №12. — С. 1798–1813.
7. Степанюк И. А. Электромагнитные поля при аэро- и гидрофизических процессах. — СПб.: Изд. РГТМУ, 2002. — 214 с.

ГИДРОЛОГИЯ

УДК 556.16.18.048

Г. С. Арсеньев, проф.

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (НА ПРИМЕРЕ ВИЛЮЙСКОГО ГИДРОУЗЛА)

Вопросам гидрологической безопасности в настоящее время уделяется значительное внимание. Это связано, прежде всего с участвовавшими случаями прорывов плотин и последующими масштабными социальными, экологическими и экономическими последствиями. Большая часть прорывов плотин происходит из-за перелива воды через гребень плотины. Причиной подобных переливов является занижение в проекте расчетных максимальных расходов и объемов половодий и паводков. Рассмотрим это на примере Вилуйского гидроузла, расположенного в 1345 км от устья р. Вилуя. Первый агрегат Вилуйской ГЭС введен в эксплуатацию в 1967 г., а на полную мощность ГЭС пущена в 1976 г.

Основные параметры гидроузла, включая пропускную способность водосброса, рассчитаны и обоснованы на базе исходной гидрологической информации за период с 1926 по 1966 годы.

Анализ водности р. Вилуя показал, что период с 1934 по 1972 годы является маловодным, а с 1973 г. начинается многоводный период, продолжающийся до настоящего времени. Максимальный расход половодья 1992 г. составил $16200 \text{ м}^3/\text{с}$ и превысил исторический максимум 1890 г. равный $14000 \text{ м}^3/\text{с}$.

Параметры максимального стока весенних половодий за периоды до ввода ГЭС и с учетом последних лет сведены в таблице.

При этом параметры максимального стока дождевых паводков практически остались без изменений.

Значительное увеличение максимальных расходов, а, следовательно, и объемов, весенних половодий вызвало необходимость разработки новой диспетчерской схемы пропуска расчетного половодья 0,01% с г. п. через гидроузел, исходя из его безопасности.

Таблица

Параметры максимального стока весенних половодий

Характеристика	Период	
	1926 – – 1966 гг.	1926 – – 2000 гг.
1	2	3
1. Среднемноголетний максимальный расход воды половодья, м ³ /с	6600	7640
2. Коэффициент изменчивости стока – C_{ve}	0.31	0.33
3. Коэффициент асимметрии стока – C_s	$C_s = 2C_v$	$C_s = 3C_v$
4. Максимальный расход половодья вероятностного превышения 0,01% с гар. поправкой	18700	21600

Проведенные многовариантные расчеты показали:

- для пропуска половодья 0,01 % с г. п. без превышения форсированного подпорного уровня 249,0 м необходимо к началу половодья произвести углубленную сработку водохранилища с уровня ежегодной сработки 241,2 до отметки 239,0, т. е. на 2,2 м или в объеме 4 км³.
- открытие водосброса необходимо произвести с отм. 239,0 м.
- расходы воды, пропускаемые через ГЭС, устанавливаются в соответствии с экстрапотреблением, т. к. Вилюйская ГЭС работает изолированно, т. е. не в составе энергосистемы.

Решить данную проблему возможно только при надежном прогнозировании с заблаговременностью, достаточной для проведения подобной сработки.

Вывод: по мере накопления данных наблюдений за стоком через 10 – 12 лет следует уточнять параметры максимального стока и определять гидрологическую безопасность.

ОЦЕНКА ЦИКЛИЧНОСТЕЙ В ИЗМЕНЕНИЯХ ХАРАКТЕРИСТИК КАСПИЙСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДНОБАЛАНСОВОЙ МОДЕЛИ

Оценки периодичностей (циклов) в изменениях характеристик крупных внутренних водоемов суши весьма актуальны при исследовании изменений элементов водного баланса и уровня озер, климатических условий и режима увлажнения их бассейнов в историческом прошлом, в современную эпоху, а также при их прогнозе на будущее с различной заблаговременностью.

Решение дифференциального уравнения водного баланса озера позволило разработать математическую модель, представляющую динамику взаимно связанных характеристик моря – уровня, площади водной поверхности, испарения и оттока вод в залив Кара-Богаз-Гол как отклик на колебания притока в него вод (суммы речного стока, подземного стока и атмосферных осадков, выпадающих на акваторию моря).

Колебания притока вод обуславливают колебания характеристик моря той же частоты. Максимумы и минимумы уровня, площади водной поверхности, испарения и оттока вод запаздывают по отношению к соответствующим экстремальным значениям притока.

Амплитуды характеристик моря и время их запаздывания к притоку рассчитывались для большого числа периодов колебаний и различных значений притока вод. Зависимости амплитуд характеристик моря и времени их запаздывания по отношению к притоку от периода колебаний нанесены на специальные номограммы.

Рассмотрена возможность использования модели при выявлении периодичностей в изменениях характеристик моря. Данные наблюдений за уровнем Каспийского моря и притоком в него вод аппроксимировались периодическими функциями последовательно с пошаговым изменением периода. Для каждого периода рассчитывались амплитуды, фазы и аддитивные константы аппроксимирующих синусоид с наименьшими суммами квадратических разностей с членами рядов соответственно уровня моря и притока вод.

Периодические свойства выявлялись с помощью зависимости наименьших сумм квадратических разностей от периода аппроксими-

рующих синусоид. Они проявляются у периодов, у которых отмечаются минимумы сумм квадратических разностей значений рядов наблюдений соответственно притока вод и уровня и аппроксимирующих их функций, и при этом время запаздывания синусоиды, аппроксимирующей уровень к синусоиде, аппроксимирующей приток и отношения их амплитуд близки к результатам моделирования их колебаний.

Использование модели при выявлении периодичностей в изменениях характеристик озер позволяет получить более достоверные результаты по сравнению с имеющимися в настоящее время оценками, поскольку периодичность притока вод проявляется не только статистически, но и физически – в соответствующих периодах изменений уровня.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования России, грант PD02-1.5-303.

УДК 910:911

А. В. Бабкин, докторант

ВОДНЫЙ БАЛАНС ЗЕМНОГО ШАРА В ЭПОХУ ВАЛДАЙСКОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ

Микулинское межледниковье, завершившееся 115 тыс. лет назад, сменилось глобальным похолоданием. Валдайское похолодание развивалось неравномерно. Выделяются два его этапа – Ранневалдайский, охватывающий промежуток времени 115 – 70 тыс. лет назад, и значительно более суровый – Поздневалдайский, протекавший в интервале от 30 тыс. лет назад до начала голоцена. Два холодных этапа разделены более теплым межстадиалом.

Глобальное похолодание сопровождалось формированием мощных ледниковых щитов, покрывавших северные области Евразии, Америки и Антарктиду. Скандинавский, Карский и Восточно-Сибирский щиты покрывали всю северную Евразию. На Северо-Американском континенте господствовали Лаврентийский и Гренландский щиты. Максимум развития ледниковых систем наступил примерно 20 тыс. лет назад.

Появление сплошного ледникового покрова на северной окраине Евразии, мощностью от 500 до 2500 м, обусловило изменение ее гидрографической сети и формирование западной и восточной Великих приледниковых систем стока.

Понижение температуры воздуха, формирование ледниковых покровов, изменение гидрографической сети континентов оказывали влияние на процессы круговорота воды на Земле. Количественным выражением процессов круговорота воды является водный баланс Земного шара.

Предпринята попытка оценки водного баланса Земного шара в периоды максимума Валдайского оледенения, а также формирования и распада ледниковых щитов. Оценки проводились с использованием данных современного Мирового водного баланса, кривых изменений запасов воды в ледовом покрове и уровня Мирового океана в позднем плейстоцене, палеоклиматических реконструкций отклонений количества атмосферных осадков от их современных значений. При расчетах Брикнеровские уравнения водного баланса Мирового океана и суши дополнялись элементом, учитывающим изменения запасов воды соответственно в океане и на суше.

В результате исследований показано, что во время максимума Валдайского оледенения осадки, испарение и речной сток на суше были меньше современных значений. В процентном отношении наибольшее снижение отмечается у речного стока (до 16 % от его современного значения).

В период нарастания мощности ледникового покрова осадки на суше постоянно убывали. Над Мировым океаном осадки несколько увеличивались.

Во время распада ледникового покрова осадки над континентами увеличивались до их современных значений. Речной сток в океаны превышал современный на 10 – 15 %.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования России, грант PD02-1.5-303.

УДК 556.535

Н. Б. Барышников, проф.

СТОК НАНОСОВ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В САМОРЕГУЛИРУЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ РЕЧНОЙ ПОТОК-РУСЛО

Под саморегулирующимися или спонтанными понимаются такие системы, которые за счет внутренних резервов сохраняют свою

жизнедеятельность. Как известно, основную роль в этой системе играет жидкий сток, а процесс регулирования работы системы осуществляется с помощью гидравлических сопротивлений. Именно гидравлические сопротивления как бы дают команду к подключению к работе того или иного блока системы.

Если роль наносов в процессе саморегулирования прослеживается довольно четко и этот вопрос хорошо изучен, то роль русловых образований изучен недостаточно. Действительно, с помощью наносов поток формирует высоту выступов шероховатости русла, изменяя форму их перемещения из безгрядовой в донногрядовую, изменяя гидравлические сопротивления в несколько раз (2 – 7), а следовательно и скорость течения. Более того, с помощью наносов изменяется и форма сечения речного русла, что также оказывает существенное влияние на его пропускную способность.

В технической литературе большое внимание уделено перекатам, являющимся как формой регулирования стока наносов, так и формой регулирования жидкого стока. Роль же остальных русловых образований и особенно типов русловых процессов в системе саморегулирования изучена пока еще недостаточно, хотя наиболее распространенным их типом на равнинных реках являются меандрирующие русла. Более того, даже при впадении горных рек в долины, как правило, наблюдается их меандрирование. Не останавливаясь на анализе многочисленных гипотез о причинах меандрирования рек, отметим, что основной из них является процесс саморегулирования. Действительно, при меандрировании длина излучины значительно, иногда в десятки раз, больше длины спрямляющей протоки. Следовательно, при этом резко увеличивается гидравлические сопротивления и уменьшается энергия потока. Все это приводит к уменьшению его транспортирующей способности и предотвращению деформаций размыва. В конечном итоге процесс меандрирования стабилизирует высотное положение русла, препятствуя его врезанию в коренные породы.

Другие виды русловых образований – побочни, острова, осередки и др. также являются формой регулирования стока наносов. Они перемещаются только в периоды высоких паводков и половодий, когда в реки поступает большое количество наносов. На спаде паводков движение русловых образований прекращается, так как действующих сил для перемещения крупных русловых образований оказывается недостаточно и они останавливаются. При дальнейшем поступлении

наносов в реки по напорным склонам таких образований перемещаются донные гряды меньших размеров. Дальнейшее уменьшение стока расходов воды, а следовательно и действующих сил, приводит к тому, что крупные гряды останавливаются, а по их напорным склонам перемещаются гряды меньших размеров и так далее.

К сожалению, другие аспекты процесса саморегулирования за счет русловых образований изучен недостаточно и требует дальнейших исследований.

УДК 556.535

Е. В. Бочкарева, асп.

МЕСТНЫЙ РАЗМЫВ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ КРАСНОЯРСКОЙ ГЭС

При эксплуатации регулирующих водохранилищ в нижних бьефах происходят деформации размыва, которые принято подразделять на деформации местного и общего размыва.

Задачей нашей работы является изучение деформаций местного размыва, возникающих под воздействием Красноярского гидроузла. Как известно, причиной этого вида деформаций является задержка наносов в верхнем бьефе водохранилища. К тому же, гашение скоростей с помощью рисбермы не всегда осуществляется до значения бытовых скоростей. Таким образом, действующим является оба основных фактора способствующих деформации разрыва, а именно:

- транспортирующая способность потока значительно больше поступления наносов в нижний бьеф;
- средние скорости потока в нижнем бьефе либо превышают, либо равны бытовым скоростям, то есть средние скорости потока больше критических скоростей.

Методика расчета максимальных глубин местного размыва основывается на простейшей зависимости вида:

$$H_{кр.} = \alpha q / V_{кр.},$$

где q — удельный расход воды; $V_{кр.}$ — средняя критическая скорость потока; α — зависит от пульсации донных скоростей и от формы перемещения наносов.

По-видимому, параметр α должен учитывать и погрешности рабочей гипотезы. Как показали данные натурных обследований зоны местного размыва Красноярской ГЭС, в настоящее время глубина размыва несколько превышает расчетную, что, по нашему мнению, обусловлено как недостатками методики расчетов, так и увеличением глубины за счет сосредоточенного размыва. Последнее обусловлено несовершенством методики сброса паводочных вод из водохранилища. Все это приводит к необходимости совершенствования методики расчетов максимальных глубин местного размыва, что и является задачей наших исследований.

УДК 556.536

С. Д. Винников, доц.

ОБ ИНВАРИАНТНОСТИ МОДУЛЕЙ СКОРОСТИ ПОТОКА, РАСХОДА ВОДЫ И ПОСТУЛАТА ИНВАРИАНТНОСТИ МОДУЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ РУСЛА РЕКИ

Профессора Б. А. Бахметев, А. Н. Рахманов и акад. Н. Н. Павловский и др. при разработке курса «Гидравлики» ввели понятия таких гидравлических характеристик, как модуль скорости и модуль расхода воды. Эти характеристики получаются в результате преобразования формулы Шези

$$v = C\sqrt{RI}, \quad (1)$$

предназначенной для определения средней скорости потока реки при равномерном движении его в ней:

$$W = \frac{v}{I^{1/2}}, \quad (2)$$

$$K = \frac{Q}{I^{1/2}}, \quad (3)$$

где W и K – модули скорости потока и расхода воды. При этом они отмечают, что W и K инвариантны по отношению к уклону, т. е. неиз-

менны с изменением уклона водной поверхности I , а относительно модуля сопротивления русла реки

$$F = \frac{\Delta}{Q^2} \quad (4)$$

допускают эту зависимость, хотя в основе формулы (4) также лежит формула равномерного движения потока (1).

Упомянутые выше авторы не раскрывают физическую сущность этих новых гидравлических характеристик, поэтому они не нашли широкого применения в гидравлической практике, а порой делаются даже не правильные выводы при использовании этих понятий.

Если мы обратимся к выводу формулы Шези, то обнаружим, что модули W и K являются результатом отношения кинетической энергии вихревого движения жидкости в потоке к энергии, обусловленной силой тяжести, действующей на эту жидкость, а модуль F — результат отношения энергий силы трения и силы тяжести.

Известно, что при равномерном движении потока и определенном уровне воды в реке модули W , K и F будут иметь только одно значение (при данном уклоне поверхности воды I). Если мы изменим уклон поверхности воды, то чтобы соблюсти равномерный режим движения воды в реке, должны изменить и положение дна реки (изменить его уклон), что в природе не осуществить. Следовательно, значения перечисленных модулей при данной отметке поверхности воды являются единственными, и не должно быть речи об инвариантности модулей. Явление инвариантности модулей можно наблюдать только в лабораторных условиях в гидравлическом лотке с меняющимся уклоном дна.

С учетом сказанного следует в лекционных курсах по гидравлике и речной гидравлике ввести пояснения при определении модулей скорости потока W , расхода воды K , а пояснение о постулате инвариантности модуля сопротивления F с помощью традиционного рисунка изъять, так как оно относится к явно неравномерному движению потока в реке. В этом случае, видимо, достаточно привести фразу: «Для естественных рек с очень малым уклоном водной поверхности с некоторым допущением мы можем его принять равным уклону при равномерном движении потока». Этой фразой мы и оправдаем примени-

мость способов построения свободной поверхности потока, в основе которых лежит постулат инвариантности модуля сопротивления.

УДК 551.515.12.9

А. М. Владимиров, проф.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Большинство чрезвычайных ситуаций происходит из-за особых гидрометеорологических условий, создающихся на локальных или обширных территориях. Причины образования опасных ситуаций весьма разнообразны, хотя результаты их проявления более однообразны – разрушения и жертвы.

К опасным гидрометеорологическим явлениям (ОГЯ) можно отнести такие события, которые приводят к человеческим жертвам, разрушениям и наносят большой экономический ущерб. ОГЯ могут быть обусловлены природными и антропогенными (техногенными) причинами.

В действующем СНиПе 22-01-95 «Геофизика опасных природных воздействий» из ОГЯ названы лишь наводнения, ураганы, смерчи, сели, лавины, оползни, эрозия (размывы), цунами. Однако, перечень ОГЯ должен быть значительно шире и систематизирован.

По природному происхождению ОГЯ делятся на три группы: метеорологические, гидрологические и морские. Применительно к климатическим сезонам опасные явления (ОЯ) гидрологической и метеорологической групп делятся на две подгруппы – ОЯ теплого и холодного периодов года. Это обуславливает генетическое однообразие выделяемых явлений.

В группе гидрологических ОЯ в теплый период происходят катастрофические наводнения (половодье, паводки), засухи, сели, оползни, размывы, подвижки ледников. В холодный – наводнения от зажоров льда, промерзание рек, наледи, лавины.

В группе метеорологических ОЯ в теплый период наблюдаются ливневые дожди, ураганы, смерчи, шквалы, туманы, сильные грозы, град, очень высокие температуры воздуха.

В группе морских ОЯ огромную опасность представляют цунами и штормовое волнение.

ОГЯ имеют весьма различную площадь распространения. Наи-

большую — ОЯ, связанные с наводнениями и засухами, когда опасности подвергаются территории от сотен до тысяч квадратных километров. Наиболее локальными являются селевые потоки, оползни, размывы, лавины. Они обычно приурочены ко вполне определенным местам.

По времени проявления ОГЯ могут быть кратковременными и длительными. Большинство ОГЯ относятся к первой категории, поскольку могут длиться от нескольких минут или часов (оползни, лавины, селевые потоки и др.) до нескольких суток (основная часть ОГЯ). Но имеются и весьма продолжительные (недели и месяцы) — засухи, промерзание рек, наледи и др. Некоторые ОЯ (например, половодья, паводки) возникают регулярно на конкретных территориях, но далеко не всегда становятся катастрофическими.

Расчеты и прогнозы ОГЯ являются сложнейшими гидрометеорологическими задачами, поскольку эти явления возникают нерегулярно и при сочетании особых условий. Однако на первом этапе учесть возможные ОГЯ для данной территории можно в форме картирования с указанием мест появления того или иного ОЯ, вероятности и частоты их появления, предполагаемой силы проявления и степени воздействия на территорию. Естественно, что конкретные характеристики будут зависеть от типа ОЯ, как и возможность их прогноза. При этом важнейшей исходной информацией являются данные сети гидрометеорологических наблюдений и экспедиционных исследований, восстановление и развитие которых крайне необходимо.

УДК 556.166

Е. В. Гайдукова, асп.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РЕЖИМНОЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ К МНОГОЛЕТНИМ ИЗМЕНЕНИЯМ РЕЧНОГО СТОКА

Рассматривается проблема многолетних изменений речного стока и оптимизации численности режимной гидрологической сети наблюдений за минимальным стоком при условии изменения климата. Регион исследования — бассейн верхнего и среднего течения Оби, предмет исследования — летний и зимний 30-ти суточный минимальный сток. Для различных фаз водности исследуется изменение корреляционного, градиентного и репрезентативного критериев оптимизации режимной гидрологической сети наблюдений за минимальным стоком.

В ходе выполнения исследования восстановлены ряды летнего и зимнего минимального стока по 130 станциям продолжительностью не менее 40 лет за период до 1980 г. По данным всех станций построены интегральные разностные кривые и выявлены фазы водности. По ним выполнено районирование территории, разделяющее регион исследования на различные области со сменой маловодного и многоводного периодов на реках. Линии, отделяющие одну область от другой, для лета и зимы не совпадают.

Построена и аппроксимирована экспоненциальной зависимостью корреляционная функция рядов минимального стока по данным всех станций региона за весь период наблюдений. Рассчитан корреляционный критерий летнего и зимнего стока различных областей региона для соответствующих фаз водности. По тем же данным построена зависимость модуля стока от площади водосбора и, по специально разработанной методике, определена репрезентативная площадь. Рассчитан градиентный критерий, для нахождения которого построены карты градиентов модуля летнего и зимнего минимального стока.

Выявлено, что: 1) критерий репрезентативности не зависит от периода водности минимального стока, т.е. незначительное изменение климата на нем сказываться не будут; 2) значения градиентного критерия при изменении климата зависят от характеристик исследуемой области; 3) корреляционный критерий выше в многоводную фазу и ниже в маловодную; 4) численность станций наблюдений за минимальным стоком в бассейне верхнего и среднего течения Оби существенно меняться не будет в условиях естественных изменений климата при постоянстве репрезентативного критерия и при незначительном влиянии изменяющего корреляционного и градиентного критериев на определение оптимальной площади.

УДК 556.552

А. М. Догановский, проф.

УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА – ПОКАЗАТЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Ладожская озёрная система находится в северной части Европы и занимает площадь 280000 км². Эта система, в состав которой входят не только её конечное звено – Ладожское озеро и вытекающая из него

р. Нева, но и такие крупные озёра как Онежское, Саймаа, Ильмень и более 50000 водоёмов меньших размеров.

Формирование увлажнённости этой территории происходит преимущественно за счёт влаги, поступающей из Северной Атлантики (P). Эти же воздушные массы влияют и на температурный фон рассматриваемой территории, формируя испарение (E). Тогда количество воды поступающей в Ладогу (Q) равно

$$Q = P - E + U,$$

где U — накопление или расходование воды в бассейне озера (влагозапасы в почве и задержка воды в озёрах. Эта составляющая отражает регулирующую роль бассейна.

Ладожское озеро — водоём замедленного водообмена (полная смена воды происходит условно за 11 лет), особенностью которого является возможность формирования длинных серий высокого и низкого стояния уровня, трендов и относительно небольшого вклада составляющей шума. Это позволяет фиксировать тенденции изменений климатических сигналов (тепло и влага), трансформировать их в уровень и одновременно усиливать.

Анализ 120-летнего ряда годовых уровней Ладоги показывает наличие слабовыраженного отрицательного линейного тренда, тридцати и пяти-шестилетних флуктуаций. При более чем двухметровой многолетней амплитуде колебаний уровня средний уровень понизился на 30 — 40 см. Анализ рядов атмосферных осадков, осреднённых по 12 станциям, наоборот, показал их увеличение на 7 — 8 %. Причём в разных частях рассматриваемой территории эти тенденции различны. Исследование средних по бассейну температур воздуха (основной фактор определяющий величину испарения) также зафиксировало их возрастание более чем на 0.5 °C, что соответствует современному глобальному потеплению. Однако темп возрастания P и E различен. Поэтому входной сигнал, представленный в виде индексов увлажнения (P/E) имеет отрицательный тренд, который соответствует тенденции изменения уровня озера. При этом, благодаря отмеченной выше регулирующей возможности бассейна (U) и самого озера (замедленный водообмен) отмечено запаздывание реакции уровня озера на климатические сигналы примерно на 1 год.

Таким образом, атмосферные осадки являются главным, но не решающим фактором формирования уровня Ладожского озера.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Грант 02-05-65294).

УДК 556.552

А. М. Догановский, проф., Н. В. Макишева, доц.

ВОДНЫЙ БАЛАНС И УРОВЕНЬ ВОДЫ ОЗЕРА ИЛЬМЕНЬ В РАЗНЫХ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛАХ

Озеро Ильмень, наряду с Ладожским озером, входит в число Великих Европейских озер.

Водные балансы составлены для месячных интервалов времени за период 1945 по 1988 г. Для анализа внутригодовых колебаний составляющих баланса и уровней воды был применен метод периодически коррелированных случайных процессов (ПКСП). Этот метод уже был успешно использован для анализа временных рядов Ладоги. Анализ составляющих баланса показал, что режим стока реки Волхов зависит от колебаний уровня озера и режима работы ГЭС. Максимум осадков наступает позже, чем максимум испарения, в то время как максимум притока наблюдается до максимума осадков, что связано с условиями формирования этого элемента. Несколько позже наблюдается максимум стока Волхова по сравнению с максимумом притока.

Сравнение оценок математического ожидания ($m(t)$) и дисперсии ($D(t)$) для всех составляющих баланса показывает их синхронную изменчивость, которая в отдельные месяцы может нарушаться. Графики оценок $m(t)$ и $D(t)$ для притока ($R_{пр}$) и стока ($R_{ст}$) имеют вид двухвершинных кривых. Основной максимум приходится на период весеннего половодья (апрель), вторичный — наступает в октябре. Минимум наблюдается в феврале — марте. При этом значение $D(t)$ для $R_{пр}$ в два раза превышают аналогичные величины на Ладоге, а для $R_{ст}$ они близки. Значения $D(t)$ осадков для Ладоги и Ильмена сравнимы, но время наступления минимальных значений дисперсий на Ильмене позже. На месяц раньше на Ильмене наступают максимумы $m(t)$ и $D(t)$ испарения и отсутствует его второй пик.

Перечисленные особенности колебаний составляющих баланса, преобладание речного притока, особенности строения озерной систе-

мы оказывают решающее влияние на уровенный режим озера. Его внутригодовой ход характеризуется максимумом в мае и двумя минимумами в марте и сентябре. В отличие от Ладоги внутригодовой ход уровня Ильменя больше соответствует режиму речного притока и на кривой $D(t)$ наблюдается два максимума.

Анализ внутригодовых оценок коэффициентов корреляции ($r(t, \tau)$) показывает, что для рядов осадков внутрирядная корреляция во все месяцы близка к 0. Заметно выше $r(t, \tau)$ для притока, особенно в период высокой водности. Наибольшей коррелированностью отличаются ряды уровней и соответственно сток Волхова, для которого значения $r(t, \tau)$ несколько выше, чем $r(t, \tau)$ для $R_{\text{пр}}$. Так при $\tau = 1-2$ месяца $r(t, \tau)$ для всех месяцев близко к 1.0.

Расчет составляющих водного баланса за годовые интервалы времени за тот же период и их анализ также показывает доминирование притока воды по рекам и стока р. Волхов. Более интенсивный внешний водообмен озера Ильмень по сравнению с Ладогой предопределяет меньшую коррелированность рядов уровней при $\tau = 1$ год ($r(1) = 0.4$ — для Ильменя против $r(1) = 0.7$ — для Ладоги) и несколько иную их структуру

Анализ корреляционной зависимости для межгодовых колебаний элементов баланса показывает, что наиболее высокие значения $r(t, \tau)$ при τ несколько месяцев характерны только для рядов уровней.

Озеро Ильмень находится в тех же физико-географических условиях, что и Ладожское озеро. Однако, размеры озерных систем, особенности их строения, морфометрические различия предопределяют формирование иных функций отклика на климатические сигналы и уровенный режим озера Ильмень в целом ряде деталей отличается от уровенного режима Ладожского озера и за многолетний период и внутри года.

Небольшие $r(t, \tau)$ по сравнению с Ладогой предопределяют и меньшую инерционность системы озера Ильмень, где более четко выражены короткопериодные (менее 1 месяца) колебания уровня. Эти отличия влияют на структурные особенности

ИНТЕРФЕЙС МЕЖДУ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬЮ ПРОГНОЗА ПРИТОКА ВОДЫ К ВОДОХРАНИЛИЩАМ ГЭС И ПРОЦЕДУРОЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ КОЛУМБИИ

Гидроэнергетический сектор Колумбии (ГЭСК), как следствие его частичной приватизации, работает в условиях неолиберального свободного рынка электроэнергии, тому свидетельство создание Колумбийской Биржи Электроэнергии. В связи с этими обстоятельствами в работе ГЭСКа ставятся два вопроса на выбор оптимального решения: первый вопрос исходит со стороны Национального диспетчерского центра, «у какого производителя гидроэлектроэнергии заказать выработку электроэнергии? а второй вопрос возникает у операторов разных ГЭС, «по какой цене предлагать электроэнергию на бирже?». Оба вопроса могут быть решены, применяя стохастические процедуры принятия решений (СППР) /1/.

В качестве исходной информации, СППР требуют прогноз апостерёрных вероятностей притока воды к водохранилищам ГЭС. Таким образом, Гидрометцентр Колумбии (IDEAM¹), кроме выполнения своих общественных обязанностей (прогноз гидрометеорологических катастроф, оценка водного ресурса и т.д.), вынужден отвечать на запросы ГЭСКа гидрометеорологическими услугами совместимые с требованиями их СППР /2/. В последствии, в ходе диссертационной работы (как аспирант РГГМУ и сотрудник IDEAM) ставилась задача разработки автоматизированной объектно-ориентированной системы математического моделирования притока воды к водохранилищам ГЭС Колумбии отвечающая на указанные выше требования /3/. Как научная основа для решения поставленной задачи взяты научные достижения Кафедры Гидрофизики и Гидропрогнозов РГГМУ обоснованные на стохастическом подходе профессора В. В. Коваленко, впервые применивший уравнение Фоккера

¹ Instituto de Hidrología, Meteorología y de Estudios Ambientales – IDEAM
(www.ideam.gov.co)

– Планка – Колмогорова /4/ для моделирования эволюции плотности вероятности расхода под влиянием изменений стока формирующих факторов. Следовательно, применяя уравнение ФПК в виде:

$$\frac{\partial p(Y, t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial Y} [A(Y, t)p(Y, t)] + 0,5 \frac{\partial^2}{\partial Y^2} [B(Y, t)p(Y, t)] \quad (1)$$

где: $p(Y, t)$ – плотность вероятности слоя притока воды к ГЭС; $A(Y, t)$, $B(Y, t)$ – коэффициенты стока и диффузии; и внесением неявной динамической модели формирования стока в варианте представленной в уравнении (2) комплектуется математический аппарат позволяющий прогнозировать, нужные для СППР, апостерёрные вероятности.

$$\tau(t, Y, X) \frac{dY}{dt} + \frac{Y}{k(t, Y, X)} = X \quad (2)$$

где Y – слой стока, X – осадки, τ – время добегания, k – коэффициент стока, t – время.

Чтобы полностью составил интерфейс между моделью прогноза апостерёрных вероятностей и СППР, необходимо внедрять в СППР производственную функцию ГЭС для решения задач линейного программирования на выбор оптимального турбинного расхода в каждом решающем узле СППР. Учитываются ограничения гидравлического типа как уровень мертвого объёма, нормальный подпорный уровень, форсированный уровень и т.д. Согласно Колумбийским законам в обязательном порядке при управлении водохранилища ГЭС тоже нужно включать ограничения по высоким и экологическим расходам. Конечно, при прокрутке этой цепочки включаются и экономические показатели Колумбийской Энергетической Биржи. Этим способом обеспечивается интерфейс между моделью прогноза апостерёрных вероятностей гидрологического режима и экономическими показателями страны /5/. Все же остаются открытыми некоторые вопросы, касающиеся чувствительности СППР к свойствам схем идентификации шумов входящих в уравнения для определения коэффициентов сноса и диффузии. В настоящем моменте для определения интенсивностей

этих шумов используется метод подбора параметров с применением целевой функцией для оптимизации прогноза кривой плотности вероятности, но предвидеться, что для приложения в задачах реального времени нужно будет включать информацию из прилегающих к гидрологии предметных областей (взаимосвязь шумов с вегетационными индексами, например).

Литература

1. Bierman H., Bonini C., Hausman W. Quantitative Analysis for Business Decisions. –London.: Irwin, 1996. –756 с.
2. Domínguez E. Hydrological Scenarios Modeling for Climate Change Conditions Using the Fokker-Planck-Kolmogorov Equation; Communications from Kick Off Meeting in Brasilia: Prediction in Ungaged Basins – Workshop.-Brasilia.: IAHS, 2002. – 8 с.
3. Домингес Э., Применение динамических и стохастических моделей формирования стока для прогноза притока к водохранилищам ГЭС Колумбии – Материалы итоговой сессии Ученого совета 30 – 31 января 2002г Информационные материалы. –СПб.: изд. РГГМУ, 2002. – 78,79 стр.
4. Коваленко В.В., Моделирование гидрологических процессов. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 256 с.
5. Domínguez E., Aplicación de la ecuación de Fokker-Planck-Kolmogorov para el pronóstico de afluencias a embalses hidroeléctricos y la formulación de escenarios hidrológicos ante un eventual cambio climático. –Bogotá.: IDEAM, 2002. – 44 с.

УДК: 378 147 621

Т. Д. Допиро, доц.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКИ

Инженерная графика относится к базовым общеинженерным дисциплинам, хорошее усвоение которой – необходимое условие углублённого освоения фундаментальными инженерными дисциплинами и эффективного использования компьютерно-графических систем для автоматизации изготовления чертежей.

Инженерная графика по программе министерства образования изучается один семестр; что недостаточно для полного усвоения курса. Поэтому необходимо искать пути совершенствования учебного процесса. Одним из них является модульная система обучения студентов.

Сущность модульной системы заключается в следующем: весь курс инженерной графики делится на 4 модуля. На изучение каждого модуля отводится 3 – 4 недели, в зависимости от его объёма.

По истечении срока изучения модуля студенты выполняют самостоятельную работу под названием «Защита модуля». В конце семестра преподаватель выводит среднюю оценку по результатам защиты четырёх модулей, которая проставляется в зачётку. Для успешной работы по модульной системе необходимо выполнение трёх условий:

- регулярное посещение студентами лекций,
- регулярное посещение практических занятий,
- регулярная самостоятельная подготовка студентов по материалам лекций к практическим занятиям.

В основе модульной системы лежит самостоятельная работа студентов на практических занятиях и контроль знаний.

Контроль знаний осуществляется в три этапа:

1. Начальный контроль
2. Промежуточный контроль
3. Итоговый контроль.

Начальный контроль проводится в первые минуты практических занятий с целью определения уровня подготовки. Студентам предлагается в письменной форме ответить на ряд вопросов. Ответы оцениваются по пятибалльной системе.

После прохождения начального контроля студент получает индивидуальную карточку промежуточного контроля, которая содержит 3 – 4 задачи. Решение задач основывается на результатах начального контроля. Оценивается самостоятельная работа также по пятибалльной системе.

В конце изучения модуля проводится итоговый контроль знаний по билетам, включающим теоретические вопросы и графические задачи. К итоговому контролю допускаются студенты прошедшие промежуточный контроль и имеющие положительные оценки.

В результате внедрения модульной системы в учебный процесс на метеорологическом факультете-специальности «Экономика приро-

допользования» в 2001 г. 90 % студентов сдали зачёты досрочно, а в 2002 г. – 95 %.

Эта система дисциплинирует студентов, вызывает интерес к дисциплине «Инженерная графика» и не создаёт в конце семестра проблемы со сдачей зачётов.

УДК 556.16.321

Д. В. Иванюшин, асп.

К МЕТОДИКЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТОКА ЗА ПЕРИОД ПОЛОВОДЬЯ

Основная задача работы заключается в разработке методики применения стохастической модели для прогнозирования весеннего стока.

На данном этапе произведены поверочные прогнозы по динамической модели первого порядка. В расчетах использовались данные 50 гидрологических постов территории России. В качестве стокоформирующих осадков использовались те, которые наилучшим образом коррелируют с весенним стоком реки. Идентификация параметров модели проводилась путем оптимизации по критерию S/σ .

По выполненным расчетам значения критерия S/σ оказались в пределах 0,6 – 0,9. В дальнейшем планируется улучшить эти результаты путем задания параметра, определяющего коэффициент стока k , как функции от стока.

УДК 556.014+556.53

А. В. Илларионов, зав. лаб.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОДНЫХ ПОТОКАХ

Колебания гидравлических параметров, существующие в водных потоках, имеют большое научно-прикладное значение при решении различных задач речной гидравлики и гидрометрии.

До недавнего времени колебания расходов и скоростей связывались с турбулентными образованиями. В настоящее время получены тео-

ретические решения уравнения одномерной гидравлической идеализации, допускающие при определенных условиях колеблющиеся решения.

Для экспериментальной проверки выдвинутых теоретических положений автором разработана многофункциональная установка для проведения автоматизированных гидравлических экспериментов.

В состав установки входят:

1. Пятиканальный измеритель локальных скоростей
2. Двухканальный уровнемер
3. Уклономер
4. Программированный задатчик расхода с электроприводом
5. Программированный задатчик подпора с электроприводом
6. Устройство сбора и обработки информации

В докладе приводятся результаты лабораторных испытаний измерительного комплекса применительно к исследованиям колебательных процессов в открытых водных потоках, а так же намечены пути дальнейших исследований в этой области.

УДК 556.072+556.16

*В. В. Коваленко, проф., В. А. Хаустов, зам. рук. НИСа,
Н. В. Викторова, зав. лаб., И. И. Пивоварова, асс.*

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА

С конца 80-х годов прошлого века на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ начали широко применяться стохастические дифференциальные уравнения для моделирования и прогнозирования гидрологического режима, формирующегося в рамках простых и сложных марковских процессов. Выбор одного из двух упомянутых типов случайных процессов определяется интервалом дискретизации рассматриваемой величины: чем он меньше, тем (как правило) более долговременную память надо учитывать в моделях. Особенно это проявляется на гидравлическом уровне описания, когда приходится использовать уравнения для пространственно-временных характеристических функционалов.

Наиболее широко кафедрой была освоена модель для одномерной условной плотности вероятности, которая приводит (при определенных допущениях о характере действующих на речных

водосборах шумов) к уравнению Фоккера – Планка – Колмогорова (ФПК). Эта модель апробирована для годового стока (И. И. Пивоварова, В. А. Хаустов), летне-осеннего и зимнего минимального стока (Н. В. Викторова), прогноза летнего месячного притока к ГЭС (Е. В. Шевнина). Делались попытки использования этой модели для других целей (оптимизация режимной гидрологической сети, прогноз суточных расходов воды и др.).

Общий вывод по результатам ее применения сводится к тому, что к настоящему времени четко зафиксировать «экологическую нишу» ее эффективного использования не удалось. Ее стационарным решением является семейство кривых Пирсона, которым и пользуются в гидрологии, картируя их моменты распределения (точнее – норму, коэффициенты вариации и асимметрии). Казалось бы, что это неопровержимый козырь, подтверждающий ее достоверность. Но это не совсем так: выяснилось, что существуют огромные регионы поверхности суши, на которых распределения Пирсона (построенные как по фактическим рядам наблюдений, так и по решениям уравнения ФПК) неустойчивы и находятся в режиме, так называемой самоорганизованной критичности. Это поднимает ряд совершенно экзотических (для классической гидрологии) проблем, связанных с разработкой методики моделирования и прогнозирования неустойчивых (развивающихся) процессов.

Для их решения на кафедре разработано новое научное направление, названное частично инфинитным моделированием (Коваленко, 1998, 2001, 2002). В его рамках под сомнения ставятся утверждения о самодостаточности таких базовых установок современной науки, как случайность и самоорганизация.

Излагаемые в докладе результаты научных исследований получены при финансовой поддержке Министерства образования Российской Федерации (гранты 95-0-12.1-8, 01.9.80 001552, 0120 005649, 01.200.1 12913), Колумбийского гидрометцентра (IDEAM) в рамках Программы по развитию ООН (PNUD), а также индивидуального гранта И. И. Пивоваровой для молодых кандидатов наук при совместном финансировании Министерства образования и Мэрии Санкт-Петербурга PD-1.5-203.

ВОЗДЕЙСТВИЕ МЫЛЬНЫХ РАСТВОРОВ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИРОДНЫХ ВОДОТОКАХ

Большинство полужидких или полутвердых естественных гетерогенных систем является периодическими коллоидными структурами. Из этих структур наиболее крупномасштабны природные: грунты, почвы, придонные отложения и др. Поэтому исследование строения, поверхностных свойств таких систем очень актуально. Появилась необходимость привлечения закономерностей физико-химической механической механики для выявления структурно-механических и реологических свойств дисперсных систем, однако эти закономерности еще далеки от завершения. Даже терминология этого учения мало разработана как в отечественных так и в зарубежных публикациях.

Самыми распространенными растворами в природных водотоках являются мыльные. Моющее действие мыла проявляется при полном омылении в условиях, когда 1 грамм обычного мыла ($C_{17}H_{35}COONa$) содержится в 1 литре воды.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА РЕК СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ В СВЯЗИ С ВОЗМОЖНЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА

На протяжении ряда лет в научной и научно-популярной литературе усиленно обсуждается тема возможного глобального изменения климата. Специалисты различных отраслей обсуждают различные варианты развития событий при том или ином изменении среднегодовых температур. В последних исследованиях ГГО приводится цифра 30 – 35 лет, именно на этом временном отрезке исследовавшиеся ряды метеоданных однородны, то есть можно считать, что изменение климата произошло в конце 70-х годов прошедшего столетия. Однако однозначного ответа, что же является причиной последних катастрофических наводнений в северной Европе, и на территории России, никто пока не

дал. Таким образом, совершенно естественно, что одна из наиболее потенциально подверженных влиянию катастрофических изменений водного режима страна – Голландия выступила инициатором проведения крупномасштабных исследований призванных ответить на вопрос о наличии климатических изменений и их влиянии на гидрологический режим рек северной Евразии. В рамках данного проекта, по инициативе кафедры инженерной гидрологии Делфтского технического университета, была создана международная группа. Группа состоит из четырёх подразделений – непосредственно в Делфте, во Владивостоке, в Иркутске и в Санкт-Петербурге (РГТУ). План работы Петербургской группы предполагает следующие действия:

- сбор базы данных по более чем двумстам водомерным постам за максимально возможный период, основным критерием при отборе служит размер площади водосбора, для проекта имеют интерес реки с площадью водосбора менее 100000 км² – такой выбор обусловлен тем, что водотоки с подобными площадями наиболее чётко реагируют на изменение климатической составляющей стока;
- проведение анализа полученных рядов методом « Катерпиллера », с целью выявления статистических неоднородностей вызванных изменениями климата;
- сравнение полученных результатов с результатами полученными при использовании других методов;
- стыковка полученных результатов.

После стыковки результатов планируется получить массив данных охватывающий Северную Европу, европейскую часть России, север и центральную часть Азиатского континента. Анализ полученных результатов позволит с большой степенью вероятности ответить на вопрос о наличии изменения режима рек.

УДК 565.536

А. А. Левашов, доц., И. А. Левашова, инж.

ОТРАЖЕНИЯ, ВИХРЕВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В ПОТОКАХ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ РЕЛЬЕФА РУСЛА

Процессам отражения в потоках посвящено немного работ, в частности в теории руслового процесса эти вопросы затрагивал Н. Е. Кондратьев. Анализ экспериментальных данных, полученных в

последние годы в лаборатории кафедры гидрометрии показывает на нераскрытые возможности учета процессов отражения, вихревых образований для объяснения и оценки русловых деформаций на разнотипных участках русел.

Процессы отражения, вихреобразования в потоках взаимосвязаны с рельефом русел, создают его и видоизменяются им же в связи с изменением гидрологического режима. Кроме того, на эти процессы оказывают воздействие многочисленные факторы: ограничивающие, антропогенные и др.

Отражение различных частей потоков, целых потоков обусловлено встречей их с различными препятствиями: вогнутыми берегами на поворотах русел, схождением друг с другом, грядовым дном, создаваемым самим же потоком.

При этих отражениях порождаются (формируются) вихревые образования, водоворотные зоны различных порядков и форм. Они тесно связаны с размерами и формами препятствий, их порождающими, и изменяются с ходом изменения гидрологического режима (волнами половодий, паводков). Эти размеры, формы описываются зависимостями, представленными на рисунке, где $l_{в.з.}$ — длина водоворотной зоны. За гребнем каждой гряды всегда наблюдается водоворотная зона. Длина этой зоны, при установившихся грядах, составляет 3,5 высоты гряды. Конец водоворотной зоны (длины) находится в середине полосы зоны раздела транзитной части потока, падающего с гребня гряды, с водоворотной зоной. В этой полосе раздела транзитная часть потока, отраженная от дна, направляется вверх к поверхности воды и вниз по течению, поднимая облака мутности, а водоворотные воды направляются обратно к подвалю гряды, а затем поднимаются к ее гребню, где встречаются и взаимодействуют с новыми порциями транзитного потока.

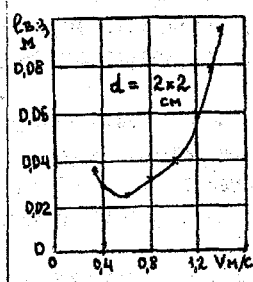
Как установлено в результате экспериментов, длина водоворотной зоны увеличивается или уменьшается в зависимости от скорости, режима движения (бурный или спокойный поток), от размера препятствия. Эксперименты проводились с жестким препятствием (рисунок).

Для рис. а

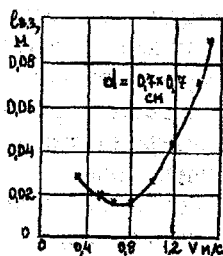
$$l_{в.з.} = 0,072 - 0,148V + 0,118V^2, \quad V \in [0,36; 1,36] \quad d=2 \times 2$$

Для рис. б

$$l_{в.з.} = 0,072 - 0,154V + 0,107V^2, \quad V \in [0,36; 1,40] \quad d=0,7 \times 0,7$$



а)



б)

Рис. Изменение длины водоворотной зоны

УДК 565.536

И. А. Левашова, инж.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОТОКОВ

В общем случае под экспериментом понимается опыт, попытка сделать, предпринять что-нибудь. В этом смысле эксперименты с водой людям свойственны с незапамятных времен. По всему миру созданы различные лаборатории. Разработаны теория подобия и методика расчета гидротехнических моделей, основные положения моделирования сформулированы И. В. Егiazаровым, А. П. Зегждой, И. И. Леви. Разработано множество критериев подобия (Фруда, Рейнольдса, Струхали, Лагранжа ...). Эксперимент выгодно отличается от моделирования тем, что не требует обязательного использования теории подобия для расчета модели и пересчета модельных данных на натуру, экспериментальный метод применялся не только в естествознании нового времени (У. Гильберт и Г. Галилей), но и диалектический материализм рассматривает эксперимент как один из методов познания, когда явления действительности исследуются в контролируемых и управляемых условиях... В то же время в гидрологических исследованиях на сегодняшний день нет четких представлений об отличии эксперимента от моделирования: часто результаты экспериментальных данных рассматриваются как моделирование и к ним предъявляются требования подобия натурным объектам.

В такой ситуации представляется перспективным на первых стадиях экспериментального исследования какого-либо явления использовать качественный критерий истинности эксперимента: сопоставление результатов экспериментов с данными натурных наблюдений. Так, например, метод амплитуд, разработанный А. А. Левашовым, И. А. Левашовой, апробированный по данным натурных наблюдений на рр. Волга, Енисей, Лена, Великая, первоначально был получен экспериментально Левашовым А. А. Суть эксперимента заключалась в том, что при подаче различных волн (амплитуд) наблюдались различные размывы. Различные амплитуды колебания уровня в течение года (то есть волны) формируют и различные грядовые формы (размывы-намывы). При отсутствии натурных данных, очевидно, необходимо накапливать качественные эксперименты, которые при накоплении (при изменении параметров), по законам диалектики, должны перейти к количественным оценкам.

Перспективными в настоящее время представляются качественные эксперименты, призванные подтвердить наличие или отсутствие предполагаемых теорией явлений и раскрыть их физическую картину. Более сложные, критериальные, эксперименты, выявляющие количественную определенность явлений, безусловно, требует разработки правил пересчета на натурные условия.

Эксперименты можно разделить на две группы в зависимости от наличия или отсутствия наносов: эксперименты в жестком русле (предназначены для изучения кинематики потока, внутренней его структуры), эксперименты в деформируемом русле (предназначены для изучения деформаций русел, транспорта наносов, гряд и изменения кинематики потока в связи с деформациями русла).

Безусловно, вторая группа экспериментов сложнее, но без знания внутренней структуры потока (то есть результатов первой, более простой, группы экспериментов) невозможно разобраться и в более сложных экспериментах. Поэтому начинающим экспериментаторам, исследователям, необходимо ставить первоначально экспериментальные работы в жестких руслах.

Экспериментальные установки необходимо устанавливать с учетом особенностей морфологии русел, близких к натурным. Гидрологический режим (расходы, уровни, скорости и др.) должен задаваться в соответствии с экспериментальными формами русла, близки-

ми к подвижным, меженным, то есть типовым, которые всегда имеют место в естественных водотоках.

Несмотря на то, что эксперименты не требуют выполнения идентичности критериев подобия, но при их проведении необходимо стремиться к учету природных соотношений B/h , крутизны, высоты, длины гряд и других природных закономерностей.

УДК 556.535

К. В. Немчинов, асп.

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РУСЛОВОГО И ПОЙМЕННОГО ПОТОКОВ НА ТРАНСПОРТИРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ РУСЛА

При проектировании объектов водохозяйственного назначения часто возникают проблемы связанные с расчетом и прогнозом русловых деформаций. К сожалению, наблюдения за донными наносами на сети не производятся, это привело к тому, что большинство формул для расчета расходов донных наносов (В. Н. Гончарова, И. И. Леви, К. В. Гришанина и др.), являются эмпирическими, основанными на данных лабораторных экспериментов, поэтому при расчетах расходов наносов русловых потоков, результаты полученные с использованием данных формул имеют большие погрешности.

В тоже время, если вопросы транспорта наносов в призматических руслах прямоугольного сечения изучались на протяжении многих лет и в этом направлении достигнуты значительные результаты, то вопросы применения разработанных методик к сложно-составным руслам, частным случаем которых являются пойменные, изучены недостаточно. Действительно, натурный материал по данной проблематике практически отсутствует, а из лабораторных исследований следует отметить лишь работы выполненные в 60 – 70 годах прошлого века Н. Б. Барышниковым, В. С. Алтуниным и Г. В. Железняковым. Итоги работ данных авторов, в особенности исследований проведенных Н. Б. Барышниковым на модели русла с односторонней гладкой и шероховатой поймами, могут быть сведены к следующим положениям:

- расходы наносов в русловом отсеке резко уменьшаются при выходе воды на пойму;

- при квазиравномерном режиме потока кривые зависимостей $G_p(Q_p)$ и $G_p(H_p)$ имеют перелом при выходе воды на пойму. При этом величина уменьшения расходов наносов достигает 50 % и более;

- кривые зависимости $G_p(V_p)$ близки к однозначным как для изолированного, так и для взаимодействующих потоков.

- наиболее близкими к экспериментальным данным получают расчетные величины по формулам, в которых основным расчетным параметром является средняя скорость потока.

Наилучшие результаты получены по формуле Гончарова, что позволяет рекомендовать ее для расчета транспорта наносов в русловых потоках как изолированных, так и взаимодействующих с пойменными.

В заключении следует отметить, что практически все исследования были проведены только для потоков с первым типом взаимодействия, то есть для условий параллельных динамических осей потоков. Что же касается других типов взаимодействия потоков, то опубликованных данных об исследованиях в этой области, на данный момент не обнаружено.

Исходя из этого, возникает необходимость дальнейшего исследования этой проблемы как в экспериментальном, так и в аналитическом аспектах.

УДК 556.166

И. И. Пивоварова, асс.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Предлагаемая работа является этапом исследований, связанных с оценкой устойчивости отраслей национального хозяйства России к возможным антропогенным изменениям климата. Имея карты аномалий гидрологических характеристик (или карты регионов, в которых происходит потеря устойчивости вероятностных распределений) при изменении климата, характера хозяйственной деятельности или демографической ситуации можно предсказать возможные тенденции развития тех или иных водозависимых отраслей экономики.

Используемый в данной работе критерий устойчивости моментов распределения плотности вероятности речного стока, как раз и

является параметром, способным описывать качественное поведение гидрологического процесса в новых климатических условиях. Критерий следует из стохастической модели формирования стока в виде уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова, практическое его использование возможно с применением только доступной гидрометеорологической информации.

В ходе исследований выполнены расчеты параметра неустойчивости годового стока и проведено географическое обобщение полученных результатов с использованием ГИС-технологий (пакет программ Surfer Version 7.0) для территории России в условиях существующего гидрологического режима. Вычисления проводились отдельно для Европейской и Азиатской частей страны вследствие большой пространственной неоднородности характеристик гидрологического режима, а также для облегчения анализа полученных результатов. Расчеты были сделаны с дискретностью 1° по долготе и широте.

Выявлено, что распределение значений критерия в первом случае (Европейская часть) носит широтную направленность – с изменением с севера на юг в сторону увеличения. Исходя из соотношений, определяющих зависимость устойчивости моментов распределения плотности вероятности от численных значений критерия, можно сказать, что потеря устойчивости годового стока по коэффициенту асимметрии происходит примерно с 65-ой параллели, а по коэффициенту вариации с 50-ой; неустойчивость по всем трем начальным моментам распределения наблюдается только в южной части России и связана, по видимому, с малостью коэффициента стока в данном регионе.

Во втором случае (Азиатская часть) на большей части территории прослеживается устойчивость по первым двум моментам распределения (критерий меньше единицы). Области, где сток имеет тенденцию к неустойчивости по норме, носят локальный характер и могут являться следствием погрешностей вычислений или недостаточной точности исходной информации. Однако обращают на себя внимание, районы с отрицательными значениями параметра β (центральная часть Западной Сибири и Дальний Восток), обусловленные сочетанием низкой внутрирядной устойчивости характеристик годового стока с избыточной увлажненностью данных географических территорий. Следует отметить, что полученные карты носят пробный предварительный характер, уточнение и анализ полученных результатов, наря-

ду с возможной доработкой математического аппарата определения степени неустойчивости гидрологических процессов, предполагается выполнить на следующих этапах работы.

Работа выполняется при финансовой поддержке в форме совместного гранта Министерства образования РФ и Администрации Санкт-Петербурга (грант PD – 1.5 – 203).

УДК 556.53

В. Г. Пирожков, асп.

ВЫЯВЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНЫХ СТРУКТУР В МАКРОРЕЛЬЕФЕ РУСЛА

Речной бассейн, являясь сложной природной системой, представляет собой упорядоченное множество взаимосвязанных элементов, обладающих иерархической организацией. На каждом уровне иерархии существует своя структура. У русловых форм принято различать микро, мезо, и макро уровни иерархии. Регулярность структуры микро- и мезомасштабных русловых образований достаточно часто используется для решения прикладных задач речной гидравлики.

В работе использован аппарат спектрального анализа для выявления регулярной составляющей у крупных русловых образований с характерным масштабом 5 – 25 ширин русла соответствующих системе плесов и перекатов.

В качестве характеристик русла использованы распределение значений ширины русла (B) и максимальной глубины (h) по длине реки, полученные путем обработки лоцманских карт. Анализ рядов для рек Ока, Северная Двина, Вычегда, Пинега позволил выделить значимые периоды в изменении характеристик русла по длине рек. У рек, не затронутых дноуглубительными работами, отмечено наличие максимума спектральной плотности на единственной частоте которая практически не изменяющееся во времени.

Реки, испытывающие антропогенную нагрузку, по видимому могут и не иметь постоянной структуры крупномасштабных форм. Так, на примере р. Оки видно как она последовательно проходила три этапа: до начала разработки русловых карьеров, во время активной добычи строительных материалов, и после окончания добычи (постепенное возвращение в исходное состояние).

Предложенный метод позволяет оценить последствия антропогенной деятельности в створе на состояние реки в целом.

УДК 556.537

Е. В. Польцина, асп.

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЙМЕННЫХ РУСЕЛ

Прошедшие в последние годы на территории Европы и России катастрофические паводки свидетельствуют о существенном изменении циркуляции атмосферы в Северном полушарии. Действительно, практически все европейские государства ощутили на себе последствия катастрофических паводков, повторяемость которых оценивается 1 раз в 300 – 400 лет. Все это, совместно с резким ухудшением качества исходной информации на сети Гидрометслужбы, одновременно – практически с полным отсутствием данных наблюдений, получаемых в периоды работы различных экспедиций, остро ставит перед гидрологами вопрос о необходимости совершенствования методов расчетов пропускной способности пойменных русел.

В настоящее время имеются следующие расчетные методики:

- основанные на формуле Шези, т.е. на уравнении равномерного движения;
- аналогичная методика, но учитывающая эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков посредством введения поправочных коэффициентов к русловой (K_p) и пойменной (K_n) составляющим потока. При этом значение этих коэффициентов рекомендуется определять по эмпирическим формулам, основанным на лабораторных данных. Принимать $K_p < 1$, а $K_n > 1$;
- основанная на системе уравнений неразрывности и движения потока с переменной массой;
- эмпирическая методика для русловой составляющей потока, основанная на данных натуральных наблюдений и графических зависимостей типа $V_p/V_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$; $I_p/I_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$

При этом установлено, что основным фактором, определяющим гидравлику руслопойменных потоков, является особенности морфологического строения расчетного участка, расположенного ниже расчетного створа;

- для расчетов пойменной составляющей рекомендована графическая зависимость вида $Q_p/Q_p + Q_{п} = f(F_p/F_p + F_{п}, \alpha, n_p/n_p, \beta)$, основанная на данных натуральных наблюдений.

Анализ расчетных методов показал, что наилучшие результаты расчетов получаются при применении графических зависимостей, как для русловой, так и для пойменной составляющих.

Однако анализ этих зависимостей показал, что положение кривых $V_p/V_{p.б.} = f(\alpha)$ при постоянных значениях относительных глубин нуждается в корректировке. Действительно, все три кривые пересекают ось ординат в точке $[0; 1]$, хотя известно, что средняя скорость потока пропорциональна глубине, т. е. $V \cong \alpha h^{2/3}$, а влияние эффекта взаимодействия потоков при параллельности их осей затухает при увеличении глубин.

Исходя из этого, на основании исходной информации по 110 постам Гидрометслужбы зависимости $V_p/V_{p.б.} = f(\alpha)$ при различных значениях глубин были откорректированы. При этом все они закономерно пересекают ось ординат (при различных значениях относительных глубин) при значениях $V_p/V_{p.б.} > 1$.

Второе направление исследований направлено на совершенствование зависимостей для расчетов значений параметров $K_p = Q/Q_{ш}$. Здесь Q – наблюдаемое значение максимального расхода воды (при взаимодействии руслового потока с пойменным); $Q_{ш}$ – аналогичное значение расхода воды, но рассчитанное по формуле Шези.

В основу была положена рабочая гипотеза о том, что $K_p/K_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$, так как $K_p = Q/Q_{ш} = FV/FV_{ш} = V/V_{ш}$. Учитывая, что $V_p/V_{p.б.}$ рекомендуется определять также по формуле Шези, то $V/V_{ш}$ также должно зависеть от относительной глубины и угла α . Исходя из этого, на основе исходной информации была получена графическая зависимость $K_p/K_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$.

Аналитическое выражение этих зависимостей имеет вид $K_p = Ae^{-B\alpha}$, где параметры A и B – являются постоянными при постоянных значениях относительных глубин.

$h_p/h_{p.б.}$	1.10	1.25	1.50
A	1.00	0.99	0.92
B	0.003	0.007	0.010

В заключение следует отметить, что данные зависимостей также нуждаются в совершенствовании, на большем по объему и более высоком по качеству исходном материале. Особенно важным является совершенствование методики расчетов пойменной составляющей.

УДК 551.51.522

А. Н. Постников, доц.

НОВЫЕ ФОРМУЛЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ МЕТЕОЭЛЕМЕНТОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ПРИ НЕУСТОЙЧИВОЙ СТРАТИФИКАЦИИ АТМОСФЕРЫ

Для вертикальных градиентов скорости ветра (U'), температуры (T') и удельной влажности воздуха (q') предлагаются следующие выражения

$$U' = \frac{v_*}{kz(1 + \sqrt{az})}, \quad (1)$$

$$T' = -\frac{P}{k C_p \rho v_* z [1 + 10(az)^{2/3}]^{1/2}}, \quad (2)$$

$$q' = -\frac{E}{k \rho v_* z [1 + 10(az)^{2/3}]^{1/2}}, \quad (3)$$

где v_* — динамическая скорость; C_p — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении; ρ — плотность воздуха; P — удельный вертикальный турбулентный поток тепла; E — удельный вертикальный поток водяного пара; g — ускорение свободного падения; T — средняя температура слоя воздуха; k — постоянная Кармана ($k = 0,40$); $a = \frac{kg|P|}{C_p \rho v_*}$ — величина обратная масштабу длины, введенному А. М. Обузовым.

После интегрирования по высоте (z), получаем формулы вертикальных профилей скорости ветра, температуры и удельной влажности воздуха

$$U(z) = \frac{2v_*}{k} \ln \frac{\sqrt{z}(1 + \sqrt{az_0})}{\sqrt{z_0}(1 + \sqrt{az})}, \quad (4)$$

$$T(z) = T(z_0) - \frac{3}{2} \frac{P}{k C_p \rho v_*} \ln \frac{(t-1)(t_0+1)}{(t+1)(t_0-1)}, \quad (5)$$

$$q(z) = q(z_0) - \frac{3}{2} \frac{E}{k \rho v_*} \ln \frac{(t-1)(t_0+1)}{(t+1)(t_0-1)}, \quad (6)$$

где $t = [1 + 10(az)^{2/3}]^{1/2}$; $t_0 = [1 + 10(az_0)^{2/3}]^{1/2}$; z_0 — параметр шероховатости.

При $a \rightarrow 0$ (нейтральная стратификация) выражения (4–6) переходят в известные логарифмические распределения метеозлементов по высоте, а формулы 1–3 — в производные по высоте от этих распределений.

При $v_* \rightarrow 0$ (сильная неустойчивость, свободная конвекция) формулы (2) и (5) в пределе переходят в известные формулы А. Б. Казанского и А. С. Мони́на, полученные ими на основании представлений теории размерности. Так, например, формула (2) принимает вид

$$T' = -10^{-1/2} k^{-4/3} \left(\frac{P}{C_p \rho} \right)^{2/3} \left(\frac{g}{T} \right)^{-1/3} z^{-4/3}, \quad (7)$$

что совпадает с аналогичной формулой Казанского и Мони́на с точностью до числового множителя.

При $v_* \rightarrow 0$ формула (3) дает значение вертикального градиента удельной влажности в условиях свободной конвекции

$$q' = -10^{-1/2} k^{-4/3} \rho^{-2/3} \left(\frac{C_p T}{gP} \right)^{1/3} E z^{-4/3}. \quad (8)$$

К настоящему времени рядом исследователей установлено, что между функциями Обухова – Мони́на для вертикальных градиентов скорости ветра (φ_u), температуры (φ_T) и удельной влажности воздуха (φ_q) справедливы соотношения $\varphi_u^2 = \varphi_T = \varphi_q$. В нашем случае

$$\varphi_u = \frac{1}{1 + \sqrt{az}} \quad (9)$$

и
$$\varphi_T = \varphi_q = \frac{1}{[1 + 10(az)^{2/3}]^{1/2}}. \quad (10)$$

Легко проверить, что в довольно широком диапазоне изменений az соотношение $\varphi_u^2 = \varphi_T$ выполняется с удовлетворительной точностью.

Значения известных, установленных экспериментальным путем функций

$$\varphi_u = \frac{1}{(1 + 16az)^{1/4}}$$

и
$$\varphi_T = \varphi_q = \frac{1}{(1 + 16az)^{1/2}},$$

практически совпадают с нашими.

УДК 556.536

Л. Н. Путилина, асп.

ВЛИЯНИЕ АВАРИЙНОГО СУДНА НА ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ДОННЫХ НАНОСОВ

Опыт аварийно-спасательных и судоподъемных работ по оказанию помощи аварийным судам показывает, что на аварийное судно существенное воздействие оказывают подвижные донные отложения.

С другой стороны, аварийное судно, находящееся на грунте, изменяет формы и характер движения самих донных отложений.

Нами выполнен качественный анализ влияния аварийного судна на формирование подвижных донных отложений, при этом рассматриваются три основные схемы положения судна на грунте относительно направления потока.

При положении судна на дне параллельно направлению течения грядовое движение наносов нарушается только на ширине судна. На оконечности судна, обращенной навстречу потоку, будут наблюдаться размывы, а в кормовой оконечности отложения наносов, отложение наносов также возможно в зонах отрыва потока обтекания. Грядовое движение наносов вдоль бортов судна проходит практически без изменения.

Если аварийное судно легло на грунт под некоторым углом к направлению течения, то один борт судна будет находиться в водоворотной области, в которой будут оседать наносы, а вдоль другого борта формируется поток обтекания. Грядовое движение наносов в этом случае претерпевает существенные изменения, возникают размывы и вторичные гряды. Если скорость потока обтекания превысит неразмывающую скорость для данного грунта, у борта будет наблюдаться разрушение гряды и вынос наносов в комовую часть судна.

При расположении судна поперек потока в зоне тылового борта формируется водоворотная область с осаждением наносов. Фронтальный борт обращен к потоку и донные гряды при встрече с ним будут претерпевать существенные изменения. Здесь также возможны два случая – возникновение вторичных гряд или размыв гряд, отмеченные выше. В отличие от второго случая, когда судно расположено под углом к оси потока, гряды первой формы при перестройке распространяются в обе стороны вдоль корпуса судна.

Представленный анализ позволяет обоснованно строить расчетные схемы, связанные с воздействием движущихся донных отложений на аварийное судно, находящееся на грунте.

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕКАДНОГО СТОКА РЕК КОЛУМБИИ (НА ПРИМЕРЕ РЕК КАТАТУМБО И СИНУ)

Как известно, эффективное управление любым процессом возможно лишь в том случае, если известно будущее состояние системы. В гидрологии для этого широко используются прогнозы, в том числе базирующиеся на математических моделях различной степени сложности. В докладе представлены результаты разработки и использования математических моделей для прогноза декадного стока рек Северной части территории Колумбии.

В докладе приведены три основных этапа выполнения работы. На первом этапе рассмотрены различные линейные уравнения регрессии, связывающие расход воды в замыкающем створе от целого ряда предикторов. По данным уравнениям выполнена серия поверочных прогнозов удовлетворительной оправдываемости.

На втором – показан блок динамических моделей формирования стока первого и второго порядка. Приведена методика параметризации модели для пяти вариантов прогноза.

№ прогноза	Вариант прогноза	S/σ_{Δ} при оптимальных параметрах модели
1	$Q_{t+1}^{np} = f(Q_i^{факт}, X_i)$	0.87
2	$Q_{t+1}^{np} = f(Q_i^{np}, X_i)$	0.85
3	$Q_{t+1}^{np} = f(Q_i^{факт}, X_{t+1})$	0,61
4	$Q_{t+1}^{np} = f(Q_i^{np}, X_{t+1})$	0,63
5	$Q_{t+1}^{np} = f(Q_i^{факт}, X_{t+1}, k(t))$	0.67 - 0.73*

* результаты поверочных прогнозов на независимом материале.

В пятом варианте прогноза сделана попытка «разморозить» коэффициент стока. По результатам данного этапа сделаны выводы об изменчивости параметров моделей и использовании их оптимальных параметров.

На третьем этапе формулируется необходимость использования стохастической модели формирования речного стока (уравнение Фоккера – Планка – Колмогорова). Совместно с В. А. Хаустовым приводятся результаты численного решения уравнения ФПК, а также сравнение поверочных стохастических прогнозов с решением по динамическим моделям.

УДК 556.166

А. В. Сикан, доц., У. Е. Коротыгина, студ.

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО ДОЖДЕВОГО СТОКА РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДА РФ

Целью настоящей работы являлось уточнение структуры и основных параметров редукционной формулы, используемой для расчета максимального дождевого стока на территории Северо-Запада Российской Федерации.

Для решения поставленной задачи использовались данные наблюдений по 94 створам. Для всех рядов был выполнен детальный статистический анализ, который включал в себя:

- проверку рядов на случайность с целью выбора наиболее адекватной модели для описания вероятностной структуры рядов максимального дождевого стока;
- проверку рядов на однородность;
- оценку параметров распределения и их погрешностей.

Расчеты показали, что на рассматриваемой территории средний модуль максимального дождевого стока меняется в зависимости от площади и положения водосбора от 10 до 70 л/с км², а величина коэффициента вариации от 0.4 до 1.0. Погрешности расчетов среднего значения и коэффициента вариации в большинстве случаев не превышали 10 – 15 %. Учитывая большую погрешность коэффициента асимметрии, значение C_s/C_v было принято осредненным по району: $C_s/C_v = 1.8$. Для аппроксимации закона распределения использовалась кривая Крицкого-Менкеля.

Для уточнения параметров расчетной формулы был построен график зависимости модулей максимального стока однопроцентной

обеспеченности от площади водосбора (см. рис.). Точки на графике расположились широкой полосой, но с явно выраженным наклоном, отражающим общий закон редукции. Показатель редукции составил 0.22. Это значение совпадает с тем, которое рекомендуется использовать СНиП 2.01.14-83 для данной территории. В то же время, полученные в результате расчетов значения переходных коэффициентов λ_p (табл.), несколько отличаются от рекомендуемых СНиП 2.01.14-83 для этого района.

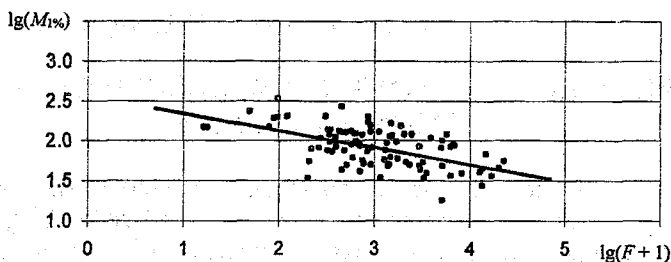


Рис. Зависимость максимального модуля дождевого стока от площади водосбора для рек Северо-Запада России

Таблица

Переходные коэффициенты λ_p от максимальных расходов ежегодной вероятностью превышения $p = 1\%$ к максимальным расходам другой вероятности превышения

$p, \%$	0.1	1	3	5	10	25
λ_p	1.36	1.00	0.82	0.73	0.60	0.42

Наиболее существенным уточнением к действующим СНиП является полученная в результате выполненных расчетов карта максимального модуля дождевого стока ежегодной вероятностью превышения $p = 1\%$, приведенного к площади водосбора 200 км^2 .

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ДИКСОНА И СМИРНОВА-ГРАББСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОДНОРОДНОСТИ РЯДОВ МАКСИМАЛЬНОГО ВЕСЕННЕГО СТОКА РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДА РФ

В ближайшее время планируется выход новых Строительных Норм и Правил, которые заменят действующие в настоящее время СНиП 2.01.14-83. В новый СНиП введены два дополнительных критерия для проверки однородности гидрологических рядов — Диксона и Смирнова-Граббса. Критерии ориентированы на оценку резко отклоняющихся экстремальных величин в рядах гидрологических характеристик.

Статистики критериев Диксона рассчитываются на основании эмпирических данных по следующим формулам:

а) для максимального члена ранжированной выборки (Y_N):

$$D1_N = (Y_N - Y_{N-1}) / (Y_N - Y_1), \quad (1)$$

$$D2_N = (Y_N - Y_{N-1}) / (Y_N - Y_2), \quad (2)$$

$$D3_N = (Y_N - Y_{N-2}) / (Y_N - Y_2), \quad (3)$$

$$D4_N = (Y_N - Y_{N-2}) / (Y_N - Y_3), \quad (4)$$

$$D5_N = (Y_N - Y_{N-2}) / (Y_N - Y_1). \quad (5)$$

б) для минимального члена ранжированной выборки (Y_1):

$$D1_1 = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_N), \quad (6)$$

$$D2_1 = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_{N-1}), \quad (7)$$

$$D3_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{N-1}), \quad (8)$$

$$D4_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{N-2}), \quad (9)$$

$$D5_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_N). \quad (10)$$

Статистика критерия Смирнова-Граббса для максимального члена ранжированной последовательности (Y_N) рассчитывается по формуле:

$$G_N = Y_N - Y_{cp} / S, \quad (11)$$

и для минимального члена ранжированной выборки (Y_1):

$$G = Y_{\text{ср}} - Y_1 / S, \quad (12)$$

где $Y_{\text{ср}}$ и S — соответственно среднее значение и среднеквадратическое отклонение анализируемой выборки.

Полученные по формулам (1 – 12) эмпирические значения статистик, сравниваются с теоретическими при заданном уровне значимости.

Учитывая, что данные критерии до настоящего времени не имели широкого применения в российской гидрологической практике, была поставлена задача: оценить возможности этих критериев и их практические преимущества.

В качестве объекта исследований использовались ряды максимального весеннего стока рек Северо-Запада РФ. При этом не использовались зарегулированные реки и реки, на которых осуществляется межбассейновая переброска стока. Не смотря на то, что продолжительность анализируемых рядов составляла 30 – 40 и более лет, количество опровержений гипотезы об однородности по критерию Фишера здесь существенно превышает уровень значимости, как при $2\alpha = 5\%$, так и при $2\alpha = 10\%$. Причиной этого в большинстве случаев является группировка в одной из частей ряда нескольких экстремумов. В этой ситуации целесообразно проводить дополнительную проверку рядов на однородность с использованием критериев Диксона и Смирнова-Граббса. Применение этих критериев позволило понизить число опровержений гипотезы об однородности для рядов максимального весеннего стока рек Северо-Запада РФ до 5 – 10 %.

УДК 565.536

А. В. Симанович, асс., Т. А. Симанович, асп.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ МАКРОСТРУКТУРЫ РУСЛОВОГО ПОТОКА

В практике методического обоснования измерений скоростей с применением поплавков, радиолокационных, стробоскопических, пузырьковых и других неконтактных методов используются интегральные характеристики кинематической структуры и, прежде всего, ко-

коэффициенты перехода от осреднённых поверхностных V_{Π} к средней скорости V_{CP} в поперечном сечении потока

$$K = \frac{V_{CP}}{V_{\Pi}} \quad (1)$$

Коэффициент K , иногда называемый поплавочным, используется для вычислений расхода воды по измеренным поверхностным скоростям и поэтому является важным гидравлично-метрологическим параметром, имеющим большое методическое значение для речной гидрометрии. Известно, насколько трудна задача изучения скоростного поля. Поэтому уже давно делались попытки оценить соотношение (1) интегрально, без учёта детального распределения скоростей в поперечном сечении. Многие принимали K за постоянную величину. Например, по Вагнеру, $K = 0,84$, по Риттеру, $K = 0,85$, по Хагену, $K = 0,86$.

Недостаток существующих зависимостей $K = f(C)$ – недоучёт относительной ширины потока, которая является одним из факторов, определяющих формирование поля скоростей. Непоследовательность расчётных формул можно преодолеть, если поставить K в зависимость от критерия квазиоднородности потока $\theta = \tilde{b} \sqrt{\lambda}$, который включает и коэффициент Шези C , и относительную ширину русла $\tilde{b}$. В относительно узких руслах максимум этих скоростей наблюдается на геометрической оси русла и поток сохраняет целостность в виде одной макроструктуры. При достаточно широком русле, когда отношение его ширины B к средней глубине h составляет $\tilde{b} = \frac{B}{h} = 20 \div 30$, образуются динамически обособленные две и более макроструктуры. Это явление давно известно в речной гидравлике. Его характеристики для потоков в реках и каналах в частности, получены И. Ф. Карасёвым, а в последнее время – В. М. Католиковым на основе экспериментальных исследований.

В практике водных изысканий при выполнении поплавочных, радиолокационных и других измерений расходов воды на неизученных реках, действительные коэффициенты Шези бывают неизвестны.

В этом случае необходимо располагать зависимостью $K = f(S)$, но с тем, чтобы в неё в качестве аргумента был включён критерий S , в котором коэффициент C определялся бы расчётным путём по формулам гидравлики, в частности, по формуле Маннинга, где коэффициент шероховатости устанавливается по известным шкалам шероховатости в зависимости от характеристик грунтов и состояния русла или по связи с осреднённым уклоном участка реки. Одну из этих связей получил А. В. Симанович:

$$n = 0.08I^{0.12} \quad (2)$$

Зависимость для K , основанная на расчётных значениях C_p (в структуре критериального комплекса S), получена нами по данным более 80 измерений на реках и каналах. В частности, в качестве исходных данных нами использованы данные И. Ф. Карасёва, Г. В. Железнякова и другие ранее опубликованные. На ряду с этим оказалось возможным привлечь результаты специальных полевых изысканий выполненных для обоснования проекта Волховской ГЭС и судоходных трасс на р. Амур, которые по степени надёжности являются беспрецедентными. Аппроксимация связи $K(S)$ выполнена методами наименьших квадратов применительно к уравнениям множественной линейной регрессии по аргументу, представленному в функции от S . Полученная расчётная зависимость приняла вид:

$$K = 0.9 - \frac{7.68}{S} + \frac{30}{S^2} \quad (3)$$

Теснота связи оценивается полным коэффициентом корреляции $r = 0,8$ и средним квадратичным отклонением $\sigma = 0,09$:

При разработке эмпирических соотношений для K необходим правильный выбор определяющего параметра. Таким параметром может служить гидравлико-морфометрический комплекс $\bar{b}\sqrt{\lambda}$. Полученная на его основе формула оказалась точнее, чем связь с коэффициентом Шези. Применение критерия квазиоднородности потока открывает новые возможности для аналитического обобщения эмпирических данных о распределении скоростей и гидравлических сопротивлениях русловых потоков.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ

Изучение стока речных наносов является одной из основных задач речной гидрометрии, поскольку количество транспортируемых потоком наносов и их режим определяют процессы формирования речного русла. Сведения о них одна из важнейших характеристик гидрологического режима рек.

В настоящее время для измерения концентрации взвешенных наносов используется трудоемкий и дорогостоящий объемно-весовой (батометрический) метод. Для решения определенных задач данный метод дает хорошие результаты, однако в связи с увеличением антропогенного воздействия на водотоки появился определенный спектр задач экологического направления (мониторинг поверхностных водотоков, расчет ПДК и ПДС некоторых веществ и др.). Получение данных, для решения этих задач, зачастую требуется в кратчайшие сроки, что невозможно выполнить объемно-весовым методом. Поэтому, возникает необходимость создания приборов для проведения экспресс-анализа концентрации взвешенных наносов основанных на других, более современных методах.

Начиная с 1997 года, на кафедре гидрометрии, проводились работы по созданию оптического измерителя концентрации взвешенных наносов (мутномера). Результатом этих работ было создание прибора, последняя модификация которого, отвечает как нормативным документам гидрометрических измерений, так и современным требованиям приборостроения. За период с 1997 по 2000 года были проведены лабораторные исследования, в результате которых были выявлены факторы влияющие на точность измерения и их значимость, а также определены параметры прибора наилучшим образом отвечающие целям гидрометрических исследований. Кроме того, на основании серии (более 100) измерений концентрации взвешенных наносов разного гранулометрического состава, была построена градуировочная кривая, позволяющая проводить измерения в полевых условиях. Также был определен порог чувствительности мутномера (1 мг/л) и погрешность измерений 10 – 20 %.

По результатам анализа данных 38 синхронных измерений концентрации взвешенных наносов батометром и мутномером было получено, что показания разнятся в среднем на 5 %.

Проведенные исследования показали, что применение мутномера целесообразно при концентрации взвешенных наносов менее 100 мг/л, так как, погрешность измерений в данном случае не превышает 10 %. При измерении концентрации взвешенных наносов до 250 мг/л погрешность измерений колеблется от 10 до 25 %, однако для этого необходима дополнительная настройка прибора.

На основе данных о распределении концентраций взвешенных наносов и химического типа речных вод, а также их минерализации на территории России было определено, что область возможного применения мутномера составляет более 70 % территории России.

Таким образом, достаточная точность и высокая экономическая эффективность применения мутномера при измерении концентрации взвешенных наносов позволяют рекомендовать его для использования на реках равнинного типа.

УДК 556.535.8

Г. Н. Угренинов, доц., Д. А. Титов, н.с. СФ ВНИИ природы

НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД ПРИ НАЛИЧИИ НЕСКОЛЬКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ВЫПУСКОВ

Результатом нормирования качества сточных вод является установление предельно допустимых сбросов (ПДС). В силу традиции и сегодняшнего состояния методической базы расчеты ПДС производятся, как правило, без количественного учета того факта, что выше и ниже по течению от нормируемого выпуска производятся сбросы сточных и ливневых вод. Концентрации загрязняющих веществ (поллюантов) в контрольном створе – результаты наложения шлейфов загрязнения от выпусков, расположенных выше по течению.

Предлагается способ, позволяющий определить концентрацию поллюантов в контрольном створе при наличии нескольких (m) выпусков на участках водотока – объекта нормирования качества сточных вод. Исходными данными являются: кратность основного разбавления сточных вод каждого i -го выпуска (n_i) на участке от выпуска до контрольного створа; заявленные водопользователями кон-

центрации конкретных загрязняющих веществ (C_i); фоновая (квасие-
 стественная) концентрация этого вещества (C_ϕ). Нормирование каче-
 ства сточных вод должно обеспечивать выполнение условия: в кон-
 трольном створе максимальная концентрация поллюанта не превыша-
 ет соответствующую ПДК. Отметим, что это условие неприменимо
 для веществ первого и второго классов опасности, в отношении кото-
 рых требования к допустимым концентрациям поллюантов сущест-
 венно ужесточаются.

Максимальную концентрацию поллюанта в контрольном створе,
 формируемую наложением шлейфов « m » выпусков, предлагается
 определять по формуле

$$C_{\max} = \sum_{i=1}^m \left[\frac{1}{n_i} C_i \prod_{j=i+1}^m \left(1 - \frac{1}{n_j} \right) \right] + C_\phi \prod_{i=1}^m \left(1 - \frac{1}{n_i} \right), \quad (1)$$

где $\prod_{i=1}^m (1 - (1/n_i)) = 1$ при $j > m$.

Если рассчитанная по формуле (1) концентрация загрязняющего
 вещества $C_{\max}$ превышает соответствующую ПДК, то предельно до-
 пустимая концентрация этого поллюанта в стоках i -го выпуска
 ($C_{ПДС,i}$) определяется по схеме

$$C_{ПДС,i} = a C_i, \quad (2)$$

где значение коэффициента « a » получено с учетом формулы (1):

$$a = \left[ПДК - C_\phi \prod_{i=1}^m (1 - (1/n_i)) \right] / \sum_{i=1}^m \left[(1/n_i) C_i \prod_{j=i+1}^m (1 - (1/n_j)) \right]. \quad (3)$$

В тех случаях, когда сброс сточных вод осуществляется через рас-
 сеивающий выпуск в качестве исходной концентрации поллюанта C_i
 принимается таковая в замыкающем створе зоны начального разбавления.

Предлагаемый способ установления нормативов ПДС позволяет
 нормировать качество воды на заданном участке реки, предъявляя во-

допользователям требования, соотнесенные с их действительным вкладом в загрязнение воды.

Протекающие по урбанизированным территориям реки зачастую истощают природную способность к самоочищению, при этом фоновые концентрации ряда поллюантов превышают ПДК. В отношении таких рек нормирование качества сточных вод следует производить по региональному и локальному принципам, устанавливая реально достижимые предельные концентрации поллюантов в контрольных створах.

УДК 556.048(861)

Ю. В. Уманец, асп.

МЕТОДИКА ВООСТАНОВЛЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ КОЛУМБИИ

Роль гидрологической информации в управлении производством постоянно возрастает в Южной Америке, и в частности в Республике Колумбия. Практически все отрасли народного хозяйства все больше осознают экономическую целесообразность использования гидрологической информации, особенно рядов, продолжительность которых не превышает десяти лет наблюдений.

В докладе рассматривается сравнение методик восстановления гидрологических рядов, основанных на двух методах: на Байесовых оценках (США) и на методе проф. А. В. Рождественского (Россия), на примере рек республики Колумбии.

УДК 556.167: 556.025

В.А. Хаустов, зам. рук. НИСа, К.А. Ковалева, асп

К ОЦЕНКЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РОССИИ

В рамках научного направления кафедры гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ, посвященного оценке чувствительности гидрологического режима к вариациям климата и антропогенной деятельности на речных водосборах в работе рассмотрен сток весеннего половодья. На первом этапе работ определены формирующие половодье осадки. Для их выражения использованы ежедневные данные по температуре

и осадкам, даты начала и конца половодья за многолетний период. Обработано более 400 гидрометеорологических постов и станций.

Для каждой метеостанции вычислены стокоформирующие осадки (СФО). По интегральной кривой хода температуры за два смежных года определены даты устойчивого перехода температуры к отрицательным значениям в осенний период предшествующего половодью года. С этой даты выполнено суммирование осадков до окончания половодья. Также определены даты перехода к положительным температурам для определения снегозапасов.

Полученные СФО разделены на составляющие по типу осадков (твердые, жидкие) и по датам (за год предшествующий половодью и текущий), вычислены их доли в процентном отношении. Для каждой гидрологической станции определены средневзвешенные значения СФО и их составляющих. Выполнен корреляционный анализ фаз СФО и слоя стока половодья, построены их хронологические графики. Определен вид автокорреляционных функций слоя половодья для рек различных регионов России.

УДК 556.16.06:656.628

С. В. Шаночкин, доц.

ПРОГНОЗ ГИДРОГРАФОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В БАССЕЙНЕ р. ТОБОЛА

Прогноз формы гидрографа весеннего половодья должен быть завершающей частью прогноза основных элементов половодья. Предсказание хода стока во времени с большой заблаговременностью может не только обеспечить рациональное использование водных ресурсов, но и заблаговременно осуществить мероприятия по предотвращению негативных последствий наводнений.

Однако, разработка методов долгосрочных прогнозов гидрографов весеннего половодья практически не ведется. Дополнительные трудности были обусловлены широким спектром форм гидрографов изучаемого объекта, являющегося результатом сложного сочетания гидрометеорологических условий формирования весеннего стока в отдельные годы.

В работе рассматриваются некоторые из возможных подходов к решению данной проблемы. Один из важнейших этапов разработки ме-

тодов прогноза – отработка правил типизации гидрографов. Кластеризация (в том числе и автоматическая) выполнялась после синтеза пространства признаков объектов (гидрографов). Присутствие эвристических идей объяснялось наличием сравнительно коротких выборок данных. Процесс формирования описаний объектов подчинялся основному требованию – поиск таких свойств, в пространстве которых классификация будет простой и объективной.

Результирующее пространство конструировалось как из производных ординат самих гидрографов, так и из элементов половодья, представленных в номинальной шкале. Впоследствии номинальные признаки переводились в квазичисловую форму (числовые коды). В результате анализа кластеризаций, в частности и тех, которые учитывали условия пространственной структуры процесса формирования стока на водосборе в целом, была выбрана оптимальная.

Для опознания кластера (типа гидрографа) на этапе реализации прогностических функций схемы использовались полипризнаки (объединение нескольких свойств, характеризующих объект). Поверочные прогнозы по трем предложенным прогностическим схемам дали обнадеживающие результаты.

СОДЕРЖАНИЕ

Метеорология

<i>Кондратович К. В., Герасимова Н. В., Бабкин А. В.</i> Озонные дыры и современное изменение климата.....	3
<i>Акселевич В. И., Драбенко В. А., Курушев В. В.</i> Проблемы использования вычислительной техники и рабочих станций в военной гидрометеорологии.....	5
<i>Богаткин О. Г.</i> Победить озоновую дыру поможет ... спонсор...	6
<i>Богаткин О. Г., Гришина Т. Н.</i> Авиация и экономия топливно-энергетических ресурсов.....	10
<i>Богаткин О. Г., Заболотников Г. В.</i> Задачи и перспективы метеорологического обеспечения автомобильного транспорта.....	12
<i>Воробьев Б. М.</i> О температурах замерзания переохлажденных капель воды.....	13
<i>Воронов Г. И.</i> Информационно-аналитическая система мониторинга состояния окружающей среды.....	15
<i>Гаврилов А. С., Воронов Г. И.</i> Численный прогноз структуры атмосферного пограничного слоя для территории Северо-Запада России.....	16
<i>Граховский Г. Н.</i> Особенности связей приземной температуры воздуха с температурой на уровне 850 гПа в Санкт-Петербурге.	18
<i>Граховский Г. И., Неелова Л. О.</i> Моделирование вихревых компонент атмосферной циркуляции.....	19
<i>Дивинский Л. И., Козлов Я. И., Чукин В. В.</i> Моделирование рассеяния электромагнитного излучения на неоднородностях атмосферы.....	21
<i>Дивинский Л. И., Реутская К. В.</i> Оценка энергетических характеристик сигналов немолниевых радиоизлучения в метровом диапазоне радиоволн.....	22
<i>Дивинский Л. И., Нгуен Вьет Хан</i> Выявление сигналов радиоизлучения сильноточных атмосферных электрических разрядов на фоне помех.....	24
<i>Егоров К. Л., Стебеньков Е. В.</i> Зависимость шероховатости морской поверхности и потока количества движения от возраста волны.....	27

<i>Ефимова Ю. В., Кондратович К. В.</i> Условия возникновения сильных и катастрофических наводнений в зимний период.....	29
<i>Ковалев В. И.</i> Исследование гидрометеорологических условий и состояния воздушного и водного бассейна в северо-западном регионе.....	32
<i>Кузнецова Е. С., Репинская Р. П.</i> Некоторые методы анализа временных метеорологических рядов.....	34
<i>Курзенева Е. В., Козлова Д. В.</i> Учет фазовых переходов в параметризации почвенного блока гидродинамических атмосферных моделей.....	36
<i>Мазуров Г. И., Вишнякова Т. В.</i> Анализ изменчивости климата над Евразией за последние 1000 лет по дендрохронологической информации.....	38
<i>Мазуров Г. И., Драбенко В. А.</i> Анализ результатов измерения вертикального профиля температуры по данным вертолетного зондирования нижней тропосферы.....	39
<i>Мазуров Г. И., Лукьянов А. В.</i> Изменчивость современного климатического режима различных ландшафтных зон Кабардино-Балкарии.....	40
<i>Матвеев Л. Т.</i> Об ошибках и парадоксах в метеорологии.....	41
<i>Михалев И. Г., Чукин В. В.</i> О механизме генерации электромагнитных полей при крупномасштабных атмосферных движениях.....	43
<i>Осипов Ю. Г., Мухау Ю. А.</i> Оценка максимальной напряженности электрических полей кучево-дождевых облаков по данным метеорологических радиолокаторов.....	45
<i>Розанова И. В.</i> Сезонная динамика характеристик центров действия атмосферы в южной полярной области.....	46
<i>Панин Б. Д.</i> Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов с учетом неоднородности поля силы тяжести Земли..	48
<i>Поташник Э. Л.</i> Трехмерная численная модель облачной конвекции с параметризованной микрофизикой.....	48
<i>Поташник Э. Л., Ли Т. Б.</i> Аналитико-численная модель переноса загрязняющих веществ в областях мезо- и регионального масштаба,.....	50
<i>Русин И. Н., Меджахед Багдад.</i> Сравнение потенциальной опасности природных катастроф для стран мира с помощью индекса потенциальных потерь.....	54

<i>Смышляев С. П.</i> Модельное исследование относительной роли естественных и антропогенных факторов в формировании наблюдаемой изменчивости атмосферного озона.....	56
<i>Третьякова А. С., Ретинская Р. П.</i> Вейвлет-анализ естественных колебаний среднемесячной температуры воздуха на различных параллелях северного полушария.....	58
<i>Федотов А. С., Фоменко М. О., Чукин В. В.</i> Разработка структуры хранения информации в геофизической базе данных.....	59
<i>Хандожко Л. А., Фокичева А. А.</i> Дескриптивная модель оптимизации погодо-хозяйственного регламента.....	61
<i>Чукин В. В.</i> О возможном механизме генерации излучения об- лаками в кнч диапазоне частот.....	63

Гидрология

<i>Арсеньев Г. С.</i> Гидрологическая безопасность (на примере Ви- лойского гидроузла).....	65
<i>Бабкин А. В.</i> Оценка цикличностей в изменениях характеристик Каспийского моря с использованием воднобалансовой модели... ..	67
<i>Бабкин А. В.</i> Водный баланс земного шара в эпоху Валдайского оледенения.....	68
<i>Барышников Н. Б.</i> Сток наносов и русловые процессы в саморе- гулирующей системе речной поток-русло.....	69
<i>Бочкарева Е. В.</i> Местный размыв в нижнем бьефе Красноярской ГЭС.....	71
<i>Винников С. Д.</i> Об инвариантности модулей скорости потока, расхода воды и постулата инвариантности модуля сопротивле- ния русла реки.....	72
<i>Владимиров А. М.</i> Классификация опасных гидрометеорологиче- ских явлений.....	74
<i>Гайдукова Е. В.</i> Чувствительность режимной гидрологической сети к многолетним изменениям речного стока.....	75
<i>Догановский А. М.</i> Уровенный режим Ладожского озера — пока- затель изменений климата.....	76
<i>Догановский А. М., Мякишева Н. В.</i> Водный баланс и уровень воды озера Ильмень в разных временных интервалах.....	78

<i>Домингес Калье Эфраин. Интерфейс между стохастической моделью прогноза притока воды к водохранилищам ГЭС и процедурой принятия решений в гидроэнергетическом секторе Колумбии.....</i>	80
<i>Допиро Т. Д. Пути совершенствования учебного процесса при изучении инженерной графики.....</i>	82
<i>Иванюшин Д. В. К методике прогнозирования стока за период половодья.....</i>	84
<i>Илларионов А. В. Автоматизация экспериментальных исследований колебательных процессов в водных потоках.....</i>	84
<i>Коваленко В. В., Хаустов В. А., Викторова Н. В., Пивоварова И. И. Опыт и перспектива применения стохастических моделей формирования стока.....</i>	85
<i>Кудряшов А. Ф., Карташова В. В. Воздействие мыльных растворов на русловые процессы в природных водотоках.....</i>	87
<i>Кузьмин В. А., Тенилов А. П. Определение возможности изменения режима рек Северной Евразии в связи с возможными изменениями климата.....</i>	87
<i>Левашов А. А., Левашова И. А. Отражения, вихревые образования в потоках и их роль в формировании рельефа русла.....</i>	88
<i>Левашова И. А. Экспериментальные исследования водотоков....</i>	90
<i>Немчинов К. В. Влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспортирующую способность русла...</i>	92
<i>Пивоварова И. И. Оценка степени устойчивости гидрологического режима для территории России.....</i>	93
<i>Пирожков В. Г. Выявление регулярных структур в макрорельефе русла.....</i>	95
<i>Польцина Е. В. О совершенствовании методов расчетов пропускной способности пойменных русел.....</i>	96
<i>Постников А. Н. Новые формулы вертикальных профилей метеозлементов в приземном слое при неустойчивой стратификации атмосферы.....</i>	98
<i>Путилина Л. Н. Влияние аварийного судна на характер движения донных наносов.....</i>	100
<i>Ривера М. Э. Стохастическая методика прогнозирования декадного стока рек Колумбии (на примере рек Кататумбо и Сину).....</i>	102
<i>Сикан А. В., Коротыгина У. Е. Расчет максимального дождевого стока рек Северо-Запада РФ.....</i>	103

<i>Сикан А. В., Соловьянова И. Ю.</i> Использование критериев Диксона и Смирнова-Граббса для оценки однородности рядов максимального весеннего стока рек Северо-Запада РФ.....	105
<i>Симанович А. В., Симанович Т. А.</i> Интегральные характеристики кинематической макроструктуры руслового потока.....	106
<i>Тихомиров К. С.</i> Область применения оптического измерителя концентрации взвешенных наносов.....	109
<i>Угренинов Г. Н., Титов Д. А.</i> Нормирование качества сточных вод при наличии нескольких стационарных выпусков.....	110
<i>Уманец Ю. В.</i> Методика восстановления гидрологических рядов для республики Колумбии.....	112
<i>Хаустов В. А., Ковалева К. А.</i> К оценке глобальных изменений максимального стока России.....	112
<i>Шаночкин С. В.</i> Прогноз гидрографов весеннего половодья в бассейне р. Тобола.....	113

52-00

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**МАТЕРИАЛЫ
ИТОГОВОЙ СЕССИИ
УЧЕНОГО СОВЕТА**

27 – 28 января 2003 г.

**Часть I
Секции метеорологии и гидрологии**

ЛР № 020309 от 30.12.96

Подписано в печать . Формат 60х90 1/16
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л.
Уч. -изд. л. Тираж Зак. 001
РГГМУ, 195196, СПб, Малоохтинский пр., 98
Отпечатано
