Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ТРУДЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ (ФИЛИАЛА ГГО)



ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Под редакцией д-ра физ.-мат. наук Г. Г. Шукина

Version and the confidence of the confidence of the second of the confidence of the



Санкт-Петербург ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 2006 Редакционная колдегия: д-р физ.-мат. наук Г. Г. Щукин, д-р физ.-мат. наук А. Д. Егоров, канд. техн. наук С. М. Гальперин, канд. физ.-мат. наук А. И. Решетников, канд. физ.-мат. наук Я. М. Шварц

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований в области дистанционного зондирования атмосферы и облаков активно-пассивными радиотехническими средствами, включая результаты наземной и спутниковой СВЧ-радиометрии и лидарного зондирования атмосферы, и исследования на их основе процессов облако- и осадкообразования, атмосферного и грозового электричества, а также в области исследований малых газовых составляющих и аэрозоля, атмосферного озона и ультрафиолетовой радиации, результаты активных воздействий на гидрометеорологические процессы.

Сборник рассчитан на научных работников и инженеров, занимающихся вопросами физики атмосферы, радиофизики, радиотехники.

Рекомендуется аспирантам и студентам старших курсов соответствующих специальностей.

หรอดนะโดงตา (Pr.U. อเพราะบุรีก (P. T. หรอง) และเลง (พ.ศ. โดยสิ

Сборник статей подготовлен при финансовой поддержке по гранту Президента Российской Федерации
№ НПП —1793.2003.5

 Наўчно-исследовательский центр дистанционного зондирования атмосферы (филиал ГГО), 2006 г.

жосдын салын найсы, балындар доймада даргерий көлөрдөгүү байда жасын дойм Салым**улкан Карад А.Бараж** — **Ниятолики тү**йк балын ары

прядну магнегральную даль в Москво Атмергонго Сергия общения общени общения общения общения общения о

Leoghach eachan a' bha an am ann a bha ann an Lanna a eilean ann an airean

Л. Г. Махоткин начал свою трудовую деятельность в 15 лет. Первые места его работы были достаточно случайными. В 1932—1933 гг. он совмещал работу с учебой на отделении подготовки метеонаблюдателей заочного гидрометеоинститута, после чего в 1933 г. стал сотрудником Ленинградской городской метеорологической станции. В 1938—1939 гг. он работал старшим наблюдателем на метеостанции в г. Кировске, затем снова возвратился в Ленинград, откуда в 1940 г. уехал работать в Арктику на полярную станцию Бухта Тикси в качестве актинометриста сроком на два года.

Во время Великой Отечественной войны смена зимовщиков на арктических станциях не производилась, поэтому первоначально запланированные два арктических года превратились для него в шесть лет непрерывной зимовки. В эти годы Л. Г. Махоткин работал на полярных станциях Бухта Тикси и Мыс Шалаурова актинометристом, метеорологом, специалистом по ионосфере. За службу в Арктике он был награжден медалями «За трудовую доблесть», «За оборону Советского Заполярья», «За победу над Германией», а также значком «Почетный полярник».

Возвращение Л. Г. Махоткина в Ленинград в 1946 г. было отмечено заметкой в газете «Вечерний Ленинград», которая называлась «Порт в Арктике». Вот ее содержание:

В Ленинград после шести лет работы в Арктике вернулся начальник обсерваторий в бухте Тикси Лев Гордеевич Махоткин.

าร เปรียบสามา 1 ว่ากราวโดย 1 เดิดเดิม **เพาะวิจีเ**ติดสามา เดิม เดิม การตามสมาชาติดสามา เดิมสามาริสิติต ก

— За годы войны, — сказал он, — Тикси, лежащий в устье реки Лены на побережье моря Лаптевых, превратился в крупный советский полярный порт. Здесь выстроен новый пирс с причалами, к которому могут подходить большие пароходы, оборудована угольная эстакада, имеются погрузо-разгрузочные механизмы. Переданный в эксплуатацию в районе Тикси угольный

рудник снабжает город топливом. Выстроено много новых домов, несколько школ, больница, создан аэродром. Сейчас строится большая электростанция. Радиоцентр Тикси поддерживает прямую магистральную связь с Москвой, Архангельском, Чукоткой. Население города достигло нескольких тысяч человек.

Геофизическая обсерватория в бухте Тикси ведет постоянные аэрологические, метеорологические, гидрологические и магнитные наблюдения. Только за последний год было выпущено 150 зондов. Проведены интересные наблюдения над северным сиянием.

В 1944 году в Тикси была организована первая в Арктике ионосферная станция, сконструированная инженером научно-исследовательского Арктического института Ф. Я. Заборщиковым.

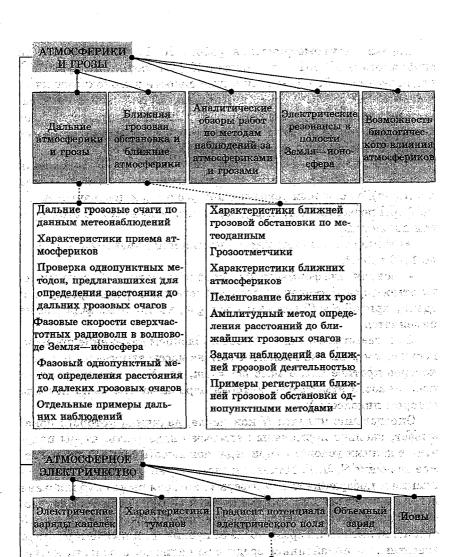
В Ленинград доставлены для обработки материалы наблюдений обсерватории.

В 1946 г. Л. Г. Махоткин поступил в Главную геофизическую обсерваторию, где и работал до конца своей жизни. В разные периоды он занимал различные должности — от старшего радиотехника (первая должность в ГГО) до научного сотрудника.

Список научных работ Л. Г. Махоткина насчитывает свыше 130 работ (преимущественно статей), причем шесть статей были опубликованы уже после его смерти. О многообразии научных интересов автора можно судить по тематике его работ, представленной на рисунке 1. Исследования, выполненные Л. Г. Махоткиным, могут быть систематизированы по трем крупным разделам: атмосферики и грозы, атмосферное электричество, актинометрия.

Отличительной чертой научной деятельности Л. Г. Махоткина была поразительная способность обобщать и выявлять основные закономерности природных явлений и атмосферных процессов. В полной мере это проявилось в работах по систематизации актинометрических данных.

Исследования в области актинометрии были для Л. Г. Махоткина факультативными, поскольку основное время он по роду своей работы уделял решению проблем атмосферного электричества. Тем не менее 19 его статей актинометрического профиля внесли заметный вклад в классическую актинометрию и понимание радиационных процессов в атмосфере.



Методические вопросы Суточный ход Годовой ход Многолетний ход

agyarya istoriya ka barakarakara bir

АКТИНОМЕТРИЯ

Тематика работ Л. Г. Махоткина.

Первая актинометрическая работа Л. Г. Махоткина была опубликована в 1951 г. в выпуске 26 (88) сборника Труды ГГО под названием «Об изменении интенсивности немонохроматической радиации в ограниченном интервале». В работе было показано, что изменение прямой солнечной радиации S при ясном небе в зависимости от высоты солнца (массы атмосферы m) может быть описано простой формулой вида $S=c-b(\lg m)$.

Дальнейшее изучение общих закономерностей изменения прямой солнечной радиации, представленной зависимостью вида $S = f(\lg m)$, в реальных условиях при различной прозрачности атмосферы позволило ему определить, что особенностью этой кривой являются:

- наличие квазилинейного участка при изменении S от 0,07 до $1,12~{\rm kB/m^2};$
- сохранение формы этой кривой при различной прозрачности атмосферы (изменения прозрачности атмосферы приводят к сдвигу кривой $S = f(\lg m)$ вдоль оси $\lg m$, но при этом форма ее не изменяется.

В соответствии с данным представлением изменение прозрачности атмосферы эквивалентно замене массы атмосферы m на некоторое кратное число масс $m^k=Nm$, где N— характеристика прозрачности атмосферы, которая первоначально была названа автором индексом N.

Определение индекса N как числа, величина которого показывает, сколько нормальных атмосфер надо взять, чтобы получить в данных условиях (при заданной высоте солнца) наблюдаемое значение S, Л. Г. Махоткин ввел в своей работе «Прямая радиация и прозрачность атмосферы», которая была опубликована в 1957 г. в Известиях Академии наук СССР, серия геофизическая. Эта статья привлекла к себе внимание не только в нашей стране: практически сразу после ее публикации имя автора стало известным и признанным среди специалистов в области изучения солнечной радиации.

О рациональности индекса N много писалось. Основные достоинства этой характеристики заключаются в следующем:

- независимость от величины солнечной постоянной;
- независимость от высоты солнца, что позволяет оценивать мутность атмосферы по данным наблюдений, выполненных

при больших массах атмосферы m (для расчета большинства характеристик не рекомендуется использовать данные наблюдений, выполненных при m > 6);

- чувствительность к изменениям мутности атмосферы.

В 1980-е годы Л. Г. Махоткин вернулся к своим работам по определению основных закономерностей изменения прямой солнечной радиации и дал теоретическое обоснование индексу мутности N. Он показал, что при анализе данных о прямой солнечной радиации надо перейти от обычного λ-спектра, представляющего зависимость радиации от длины волны λ, к ц-спектру, характеризующему интегральное значение прямой радиации для каждого значения коэффициента экстинкции атмосферы и (отнесенного к единичной массе). Для идеальной атмосферы и-спектр характеризуется распределением Планка-Рэлея. Для реальной атмосферы ц-спектр в интегральной форме может быть представлен функцией распределения гиперболического типа с показателем степени q = 1,6. Выведенная на основе этих преобразований формула для описания закономерностей изменения S в нормальной атмосфере, использованной при определении индекса мутности N, в очередной раз показала, что при использовании числа N мерой мутности атмосферы является сама реальная атмосфера.

Уделяя большое внимание систематизации актинометрических данных, Л. Г. Махоткин установил связь между возможными суточными суммами прямой солнечной радиации и прямой солнечной радиацией при данной прозрачности атмосферы, введя понятие «средней массы», и предложил способ расчета возможных сумм радиации с учетом прозрачности атмосферы.

Среди работ Л. Г. Махоткина по актинометрии не было случайных и незначительных: каждая работа указывала направление дальнейших исследований и ставила вопросы, которые требовали своего разрешения, а вклад его в исследования в области атмосферного электричества, атмосфериков и гроз, атмосферных радиопомех, аэроионизации и заряжения грубодисперсного аэрозоля существенно более многообразен и заслуживает специального рассмотрения и осмысления. Его работы в этих направлениях обогатили метеорологию и геофизику своей новизной, нестандартностью подхода, позволили заменить привычное на целесообразное.

Об образе мышления Л. Г. Махоткина и его нетрадиционном подходе к решению научных проблем говорят даже названия не-

которых его работ: «Старое и новое в атмосферном электричестве», «Основная актинометрическая формула», «Снова к гипотезе Эберта?» и т. п.

- Л. Г. Махоткин не оставлял без внимания памятные и юбилейные даты в истории геофизики. Свидетельством оригинального, а по существу неравнодушного подхода к памяти исследователей являются его работы, написанные к 90-летию П. Н. Тверского, к 100-летию грозоотметчика А. С. Попова.
- Л. Г. Махоткин придавал большое значение публикации результатов исследований, как своих, так и чужих, активно участвовал в подготовке сборников Трудов ГГО, 15 выпусков которых вышли под его редакцией. Эрудиция, глубина знаний, безукоризненное владение математическим аппаратом позволяли ему редактировать любые статьи. Как редактор от тратил немало сил и времени на повышение научного уровня публикаций, подготовленных в отделе атмосферного электричества ГГО, повышая тем самым престиж проводимых в ГГО исследований.

Отличительной чертой Л. Г. Махоткина как ученого было также исключительное знание литературы по всем отраслям геофизики. На протяжении всей своей жизни он был и до конца своих дней оставался одним из самых активных читателей научно-технической библиотеки ГГО. Он легко делился своими знаниями и опытом с коллегами, совершенно свободно, достойно и на равных общался с учеными любого ранга. Он не был педагогом в традиционном значении этого слова, но по существу создал научную школу и воспитал множество учеников. В 60-е годы он так много работал со студентами и аспирантами Тартуского университета, что коллеги в шутку говорили: «Лев Гордеевич, вы для Эстонии все равно, что Пастернак для Грузии».

Отдав служению в ГГО ровно 50 лет, Л. Г. Махоткин не мог жить без своего дела и перестал ходить на работу лишь за месяц до своей смерти.

Как всякий большой исследователь, сказавший много нового, Л. Г. Махоткин не всегда и не в полной мере был понят своими коллегами и современниками. Но нам выпало счастье сначала жить и работать рядом с ним, а теперь помнить о нем. И хочется верить, что сказанное им слово отзовется в работах последующих поколений геофизиков.

к проблеме доплеровских измерений в системе дистанционного обнаружения грозо- и смерчеопасных облаков

Грозовые облака и смерчи представляют серьезную опасность для жизнедеятельности человека, поэтому в настоящее время продолжаются широкие исследования, направленные на усовершенствование методов их дистанционного обнаружения. Два последних десятилетия стали периодом быстрого развития доплеровской метеорологической радиолокации в ряде стран [2, 5, 10, 15, 16]. В результате в настоящее время в радарных сетях штормооповещения и метеообеспечения авиации многих государств широко применяются доплеровские МРЛ, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с некогерентными станциями. Разработано программное обеспечение первичной и вторичной обработки данных ДМРЛ, нозволяющее лучше идентифицировать метеорологические явления, в частности опасные метеорологические процессы [2, 14].

По настоящее время продолжают совершенствоваться техника, методики и математические модели для обеспечения прогноза интенсивных атмосферных вихрей, торнадо и других опасных явлений погоды [2, 5, 9—17]. Развиваются сети оповещения населения о приближении опасных грозовых облаков и торнадо, в которых все больше используются данные, получаемые с применением доплеровских метеорологических радиолокаторов.

В доплеровских МРЛ для анализа данных в реальном масштабе времени применяются современные технологии, в частности цифровые процессоры обработки сигналов (ЦПОС). Современный рынок характеризуется большим разнообразием ЦПОС с производительностью, достигающей нескольких миллиардов операций в секунду [1, 3, 4, 6]. Непрерывно возрастающие темпы совершенствования ЦПОС активизируют разработку новых методов и алгоритмов цифровой обработки сигналов для решения

математикоемких прикладных задач метеорологического обеспечения.

Целью данной работы является анализ теоретических материалов и практического опыта действующих доплеровских радиолокационных комплексов метеорологического назначения и разработка подходов к созданию программного обеспечения первичной и вторичной обработки метеоинформации ДМРЛ, адаптированного для применения в системе штормооповещения Росгидромета, на базе станций отечественного производства, новых или переоснащенных существующих.

1. Алгоритмы обнаружения вихрей по данным доплеровского радиолокатора

anser, there is very a very sold from the atom critical atom for

Метеорологические службы используют в оперативной практике распределения отражаемости, представляемые на индикаторах кругового обзора радиолокаторов, а с помощью автоматизированных систем и на цветных мониторах ПЭВМ. Хотя данные об отражаемости не позволяют надежно обнаруживать вихри, такая информация представляет ценность для гидрологических наблюдений и прогноза опасных явлений погоды. Такие прогнозы основываются, в первую очередь, на данных об отражаемости, высоте верхней границы облаков и иногда на информации об особенностях циркуляции или форме распределения отражаемости.

Изрезанность распредёления отражаемости или наличие зоны слабого эха со стороны южного края ячеек иногда служит индикатором мезоциклона, а следовательно, потенциально и торнадо. Однако эти признаки из-за плохой оправдываемости не могут считаться хорошими индикаторами наличия циркуляции [2].

Несмотря на то что доплеровский радиолокатор измеряет только радиальный компонент скорости ветра, для интерпретации метеоявлений важное значение имеет ее пространственное распределение. Более того, с помощью доплеровского радиолокатора можно измерять скорость как в интенсивных воздушных потоках, распространяющихся в одном направлении, так и в турбулентных зонах. Таким образом, использование одиночного доплеровского радиолокатора весьма перспективно в прогнозе

опасных явлений погоды; как показывает практика, он является важным оперативным средством для метеорологической службы.

Получаемое с помощью радиолокатора распределение доплеровской скорости внутри облака позволяет выделить характерные признаки таких важных метеорологических явлений, как циклон с торнадо.

Дональдсон [9] сформулировал критерий, с помощью которого по данным одного доплеровского радиолокатора можно идентифицировать вихрь. Сущность подхода заключается в том, что для того чтобы существовал вихрь, должна существовать локализованная зона, вертикальный размер которой больше или равен ее диаметру, с устойчивым высоким $(5-10^{-3}\ {\rm c}^{-1})$ азимутальным сдвигом (т. е. градиентом доплеровской скорости вдоль дуги постоянного радиуса).

Потенциально важными признаками торнадо являются значительные изменения первого момента доплеровской скорости от одного разрешаемого объема к другому и большие значения второго момента. В облаках с такими характеристиками или уже есть торнадо, или имеется потенциальная возможность его зарождения, и они считаются опасными [2].

Преимущество доплеровского радиолокатора состоит в том, что он позволяет выделять среди многих облаков те, в которых имеется интенсивная циркуляция и, следовательно, возможно развитие торнадо.

Получить данные непосредственно внутри и вокруг торнадо очень трудно. В то же время доплеровский радиолокатор дает дистанционный и относительно безопасный метод исследования облаков с торнадо.

Следует отметить, что такой параметр, как ширина спектра, не являлся надежным индикатором торнадо, так как наблюдающаяся в турбулентных зонах облака большая ширина спектра может быть ошибочно принята за торнадо.

Проверка возможности улучшения прогноза торнадо при использовании доплеровской информации показала [13, 16], что с помощью доплеровского радиолокатора можно увеличить заблаговременность прогноза торнадо на 20 мин, что дает населению больше времени на принятие мер предосторожности.

2. Особенности анализа информации ДМРЛ

regija živere ikomposiarne period kraji, emerioj ega i izara iza

Как отмечалось выше, в последние годы в ряде стран в практику метеорологических наблюдений широко внедряются доплеровские МРЛ. Этому предшествовали всесторонние исследования, направленные на выяснение информативности доплеровских измерений в метеорологических наблюдениях [2, 10]. В результате были исследованы эффективность использования одиночного доплеровского радиолокатора, возможности измерения полного вектора скорости двумя или тремя разнесенными станциями, сформулированы основные требования к приемопередающим устройствам, способам и аппаратуре первичной и вторичной обработки сигналов, режимам обзора пространства.

В работе [5] приведены следующие требования к измерениям с применением доплеровских метеорологических радиолокаторов:

- а) дальность радиолокационных измерений должна превышать 200 км, для того чтобы использовать одно из основных достоинств радиолокации — оперативный сбор информации с больших площадей;
- б) измеряемая скорость должна перекрывать интервал ± 50 м/с, так как в этом интервале заключено большинство значений скорости ветра с учетом его порывов;
- в) аппаратура должна перекрывать динамический диапазон измеряемых сигналов радиоэха около 100 дБ;
- г) параметры доплеровского спектра метеообразований нужно измерять с дискретностью 50-250 м;
- д) время сканирования пространства не должно превышать $7{-}10~{\rm мин}.$

Теоретические выкладки по анализу доплеровского спектра радиоэха и устранению наложений подробно изложены в работах [2, 4, 5, 10].

Ниже кратко остановимся на основных формулах и выражениях.

В приближении однократного рассеяния волн сигнал радиоэха можно представить как суперпозицию составляющих, обусловленных рассеянием на каждой частице [5]:

$$E = A \sum_{n} G(\alpha_n, \beta_n) \sigma_n^{1/2} \exp[-i\omega t + 2ikR_n(t)], \qquad (1)$$

где σ_n — ЭПР n-й частицы; $G(\alpha_n, \beta_n)$ — диаграмма направленности антенны по мощности в зависимости от азимутального и угломестного положения рассеивателя относительно оси диаграммы; ω — частота излучения; t — время; k — волновое число; R_n — расстояние до n-го рассеивателя; A — множитель, зависящий от параметров радиолокатора и расстояния до импульсного объема, а суммирование распространяется на частицы, заполняющие импульсный объем.

Доплеровские характеристики сигнала (1) определяются изменением во времени расстояния R_n . Они оцениваются с помощью анализа квадратурных составляющих

$$C(t) = A \sum_{n} G(\alpha_n, \beta_n) \sigma_n^{1/2} \cos 2k R_n(t), \text{ standard to the property of } (2)$$

$$S(t) = A \sum_{n} G(\alpha_n, \beta_n) \sigma_n^{1/2} \sin 2kR_n(t). \tag{3}$$

Эти составляющие имеют одинаковую автокорреляционную функцию

$$B(\tau) = \langle C(t+\tau)C(t) \rangle = \langle S(t+\tau)S(t) \rangle, \tag{4}$$

а их взаимно корреляционная функция определяется выражением

en an e no establist over en sú homboed en sépular so a fiveració

$$B(\tau) = \langle S(t+\tau)C(t) \rangle = -\langle C(t+\tau)S(t) \rangle. \tag{5}$$

Угловые скобки обозначают усреднение по времени.

Корреляционные функции B_1 и B_2 можно объединить в виде действительной и мнимой частей комплексной корреляционной функции $B\colon B(\tau)=B_1(\tau)+iB_2(\tau)$. Для небольших интервалов времени радиолокационного измерения перемещение рассеивателя можно представить в линейном виде как $R_n(t)=R_{n\,0}+V_n t$, где $R_{n\,0}$ — начальное положение рассеивателя, а V_n — его скорость.

Тогда получается простое выражение для корреляционной функции:

$$B(\tau) = A^2 \sum_{n} \sigma_n G^2(\alpha_n, \beta_n) \exp(2ikV_n \tau). \tag{6}$$

Из последнего выражения следует, что доплеровский спектр радиоэха представляет собой набор частот $2V_n/\lambda$ с амплитудой, пропорциональной ЭПР данной частицы и функции диаграммы антенны.

Доплеровский спектр P(f) радиоэха есть преобразование Фурье от корреляционной функции (6). В спектре содержится наиболее полная информация о движении рассеивающих частиц в пределах импульсного объема. Для метеорологической интерпретации используются первые три момента доплеровского спектра.

Быстрые (или так называемые оперативные) способы оценки трех моментов спектра не используют вычисления спектра P(f), а основаны на параметрическом представлении корреляционной функции [5]. Во многих случаях доплеровский спектр метеорадиоэха можно считать гауссовским, так как главный лепесток диаграммы параболических антенн близок к гауссовской функции и распределение скоростей частиц в турбулентном воздухе описывается этой же функцией. Гауссовский доплеровский спектр метеорадиоэха зависит от двух параметров — средней частоты спектра \bar{f} и его среднеквадратичной ширины σ_f . Тогда выражение для корреляционной функции запишется в виде

$$B(\tau) = \overline{P} \exp(2i\pi \overline{f}\tau - 2\pi^2 \sigma_f^2 \tau^2). \tag{7}$$

Отсюда следует, что два момента спектра можно определить из выражений

where
$$ar{f}=rac{1}{2\pi au}rg[B(au)],$$
 where $ar{f}=rac{1}{2\pi au}rg[B(au)]$

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{2\pi^2 \tau^2} \ln[|B(\tau)|/\overline{P}]. \tag{9}$$

Средняя мощность радиоэха находится как

$$\overline{P} = \langle C^2(t) \rangle + \langle S^2(t) \rangle. \tag{10}$$

Последняя операция предполагает наличие линейного приемника с широким динамическим диапазоном (порядка 100 дБ), в котором заключены амплитуды сигналов метеообразований. В некоторых ДМРЛ для перекрытия большого динамического диапазона сигналов применяют логарифмический усилитель. Усреднение сигнала на его выходе позволяет также оценить среднюю мощность радиоэха:

$$\overline{P} = \langle 20\lg A(t) \rangle + 2.5. \tag{11}$$

Здесь P измеряется в дБ, а A(t) — огибающая сигнала (1). Выражение (11) записывается на основании гауссовской статистики сигнала (1).

Средняя доплеровская частота и ширина спектра определяются на основании (8) и (9). Для этого в радиолокаторе выделяют сигналы квадратурных составляющих, вычисляют корреляционные функции (4), (5) и арктангенс их отношения. Далее рассчитывают аргумент корреляционной функции для оценки доплеровского сдвига (8) и модуль этой функции (9) для определения ширины спектра [5].

3. Алгоритмы обработки цифровой информации в ДМРЛ

Остановимся на базовых методах и алгоритмах цифровой обработки сигналов (ЦОС), которые оказывают существенное влияние как на элементную базу ЦОС, так и на архитектуру ЦПОС. Знание этих методов и алгоритмов позволяет выбрать оптимальную элементную базу для обработки метеоинформации ДМРЛ.

Цифровая обработка принципиально связана с представлением любого сигнала в виде последовательности чисел. Это означает, что исходный аналоговый сигнал должен быть преобразован в последовательность чисел, которая вычислителем по заданному алгоритму преобразуется в новую последовательность, однознач-

но соответствующую исходной [7, 8]. Из полученной новой последовательности формируется результирующий аналоговый сигнал.

Перечисленные преобразования должны происходить по определенным правилам, смысл которых отображен на рис. 1 [7], где показаны основные элементы обобщенной схемы цифровой обработки аналоговых сигналов:

аналоговый антиэлайсинговый фильтр низких частот (АФНЧ);

аналого-цифровой преобразователь (АЦП); устройство цифровой обработки сигналов (вычислитель); цифроаналоговый преобразователь (ЦАП);

аналоговый сглаживающий фильтр низких частот (СФНЧ).

На рис. 1 приведен пример пифровой обработки аналогового сигнала и временные и спектральные диаграммы на входе и выходе основных элементов. Устройство, объединяющее АФНЧ и АЦП, представляет собой кодер. Как следует из рис. 1 а, кодер формирует последовательность чисел, соответствующую обрабатываемому аналоговому сигналу. Устройство, объединяющее ЦАП и СФНЧ, является декодером. Декодер по принятому пифровому сигналу формирует аналоговый сигнал, т. е. производит преобразования, обратные происходившим в кодере.

На вход системы поступает ограниченный по длительности сигнал x(t), имеющий в своем составе постоянную составляющую $x_0=1$ и явно выраженные высокочастотные составляющие, которые несколько затеняют сигнал небольшими всплесками (рис. 1 δ). Спектр амплитуд, или просто спектр, такого сигнала представлен на рис. 1 δ . В силу конечной длительности сигнала его спектр бесконечен.

Бесконечность спектра является препятствием для преобразования сигнала x(t) в цифровую форму, что связано с природой аналого-цифрового преобразования, осуществляемого в два этапа: дискретизации по времени и квантования по уровню.

Дискретизация по времени (или дискретизация) представляет собой процедуру взятия мгновенных значений сигнала x(t) через равные промежутки времени T. Мгновенные значения x(nT) представляют собой выборки, или отсчеты, время T — период дискретизации, n указывает порядковый номер отсчета. Чем

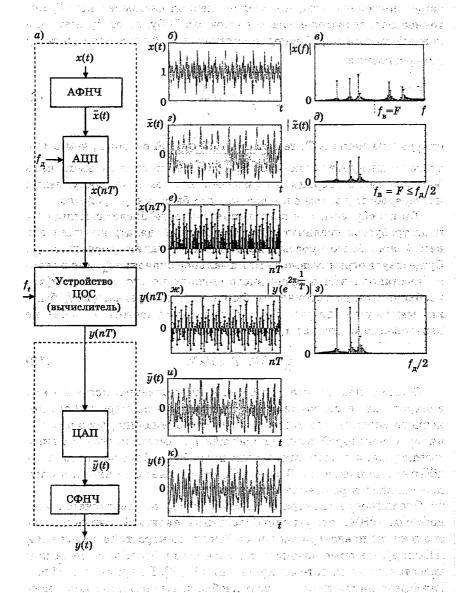


Рис. 1. Обобщенная схема цифровой обработки аналоговых сигналов [7].

чаще берутся отсчеты, тем меньше период дискретизации T, тем точнее последовательность отсчетов x(nT) будет отображать исходный сигнал x(t). Период дискретизации T определяет частоту дискретизации:

скретизации:
$$f_{\pi} = \frac{1}{T}, \quad T = \frac{1}{f_{\pi}}, \tag{12}$$

откуда чем меньше T, тем выше $f_{\rm g}$. С другой стороны, чем выше частота дискретизации, тем труднее вычислителю выполнять большое число операций над отсчетами в темпе их поступления на переработку и тем сложнее должно быть его устройство.

Таким образом, для повышения точности представления сигнала требуется увеличить f_{π} , а стремление сделать вычислитель как можно более простым приводит к желанию уменьшить f_{π} . Существует ограничение на минимальное значение f_{π} : для полного восстановления непрерывного сигнала по его отсчетам x(nT) необходимо и достаточно, чтобы частота дискретизации f_{π} была как минимум в два раза больше наивысшей частоты F в спектре передаваемого сигнала x(t), т. е.

$$f_{\rm p} > 2F, \ T < 1/2F.$$
 (13)

Отсюда следует, что при бесконечном спектре, когда $F \to \infty$, дискретизация невозможна. Тем не менее в спектре любого конечного сигнала есть такие высшие составляющие, которые, начиная с некоторой верхней частоты $f_{\rm B}$, имеют незначительные амплитуды, и потому ими можно пренебречь без заметного искажения самого сигнала. Значение $f_{\rm B}$ определяется конкретным типом сигнала и решаемой задачей.

Ограничение спектра до частоты $F = f_{\rm B}$ осуществляется аналоговым ФНЧ, получившим название антиэлайсингового, поскольку он предотвращает искажения спектра типа наложения (aliasing), которые возникают в спектре цифрового сигнала при недостаточной частоте дискретизации [7, 8]. Во временной области эффект наложения означает необратимую потерю возможности точного восстановления аналогового сигнала по его отсчетам.

Антиэлайсинговый фильтр формирует аналоговый сигнал со значительно подавленными верхними частотными составляющими (рис. 1 z, ∂) в полосе задерживания, начиная с частоты $F = f_{\rm B}$. Это дает основание считать сигнал практически ограниченным по частоте и не подверженным эффекту наложения при частоте дискретизации не менее 2F.

Квантование отсчетов по уровням производится с целью формирования последовательности чисел. Для этого весь диапазон изменения величины отсчетов разбивается на некоторое число дискретных уровней (рис. 1 e), и каждому отсчету по определенному правилу присваивается значение одного из двух ближайших уровней квантования, между которыми оказывается данный отсчет. В результате получается последовательность чисел x(nT) = x(n), представляемых в двоичном коде. Число уровней определяется разрядностью b АЦП. Например, если b = 8, всего можно иметь $b = 2^b = 2^b = 2^b = 2^b$ уровней квантования, а минимальное и максимальное значения отсчетов равны соответственно 0 и 255. Квантованный отсчет отличается от выборки x(nT), Это отличие выражается ощибкой квантования:

которая тем больше, чем меньше b. Максимальная ошибка квантования при использовании округления в качестве приближения равна половине шага квантования Q:

$$\max |\varepsilon_{KB}| = Q/2, \quad Q = 2^{-b}. \tag{15}$$

Отсюда следует, что чем больше разрядность *b* АЦП, тем точнее представляется отсчет, но тем сложнее и дороже оказывается АЦП, который необходим для решения поставленной задачи. Современные АЦП имеют разрядность от 8 до 16.

agretion of the great region at the control of the great region of the control of the control of the control of

Последовательность x(nT) = x(n) поступает на вычислитель, который по заданному алгоритму каждому отсчету x(n) ставит в однозначное соответствие выходной отсчет y(nT) = y(n): $x(n) \Rightarrow y(n)$.

Результатом переработки исходного сигнала является цифровая последовательность — цифровой сигнал (рис. 1 ж), уже не

имеющий постоянной составляющей и существенно отличающийся от x(n). Амилитудный спектр (рис. 1 з) оказывается более обостренным на частотах, близких к частоте $f_{\pi}/4$. Число операций (умножения, сложения, пересылки и т. д.) для получения одного отсчета y(n) может исчисляться тысячами, поэтому вычислитель должен работать на более высокой тактовой частоте f_{π} , чтобы успеть произвести все необходимые действия до поступления очередного отсчета x(n). Таким образом, какой бы сложности ни был алгоритм, время переработки не должно превышать периода дискретизации T:

of the anti-property of the property of the characteristic and the $t_{
m constant}$ and $t_{
m constant}$ and $t_{
m constant}$ and $t_{
m constant}$ and $t_{
m constant}$

Однако это может быть обеспечено лишь в случае, когда тактовая частота $f_{\rm T}$ вычислителя существенно превышает частоту дискретизации $f_{\rm g}$. Именно при этих условиях возможна работа вычислителя в реальном времени, т. е. в темпе поступления входных отсчетов.

Из сказанного вытекает ряд ограничений, влияющих на характер и выбор элементной базы для реализации вычислителя:

- разрядность регистров должна быть большой и превышать разрядность ЦАП во избежание дополнительных ошибок при округлении результатов вычислений;
- тактовая частота, на которой работает вычислитель, должна в сотни раз превосходить частоту дискретизации, если предъявляется требование реального времени;
 - малое энергопотребление;
- компактность.

Среди задач анализа можно выделить как традиционные, так и нетрадиционные области применения ЦОС. Каждая задача (в зависимости от конкретного приложения) может решаться с использованием различных методов и алгоритмов. Например, задача выделения сигнала из помех может решаться методами линейной, адаптивной и нелинейной фильтрации. В свою очередь, цифровая динейная фильтрация может быть осуществлена алгоритмами КИХ- или БИХ-фильтрации.

В настоящее время выделяют следующие основные направления ЦОС [8]:

да да линейная фильтрация,

- . эст— спектральный анализ.
 - частотно-временной анализ,
 - адаптивная фильтрация,
- нелинейная обработка,
 - многоскоростная обработка.

Фильтрация может осуществляться с помощью цифровых фильтров (ЦФ), описываемых во временной области линейными разностными уравнениями вида

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i x(n-1), \tag{16}$$

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i x(n-1) - \sum_{k=1}^{M-1} a_k (n-k),$$
 (17)

где x(n) — отсчеты воздействия; y(n) — отсчеты реакции; $\{b_i\,,a_k\}$ — вещественные коэффициенты, полностью определяющие свойства ЦФ; М и N — константы, задающие сложность $\coprod \Phi$; x(n-i) и y(n-k) — отсчеты воздействия и реакции, задержанные на i и k периодов дискретизации T соответственно [8].

Фильтр, описываемый выражением (16), называют нерекурсивным, или КИХ-фильтром (фильтр с конечной импульсной характеристикой); фильтр, описываемый выражением (17), называют рекурсивным, или БИХ-фильтром (фильтр с бесконечной импульсной характеристикой).

Передаточные функции КИХ- и БИХ-фильтров определяются из (16) и (17) с помощью Z-преобразования и имеют вид соответственно

$$H(z) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i z^{-i}, \qquad (18)$$

$$H(z) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i z^{-i}, \qquad (18)$$

$$\frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i z^{-i}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k z^{-k}}, \qquad (19)$$

откуда после подстановки $z=e^{j\omega T}=e^{j\omega}$ получают комплексные частотные характеристики

$$H(e^{j\overline{\omega}}) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i e^{-j\overline{\omega}i}, \qquad (20)$$

$$H(e^{j\overline{\omega}}) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i e^{-j\overline{\omega}i}}{\sum_{k=1}^{M-1} a_k e^{-j\overline{\omega}k}}.$$
 (21)

Из (20) и (21) нетрудно получить выражения для амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) А(о) и фазочастотной характеристики (ФЧХ) $\phi(\omega)$:

$$A(\overline{\omega}) = H(e^{j\overline{\omega}}),$$
 (22)

$$A(\overline{\omega}) \stackrel{|}{=} H(e^{j\overline{\omega}}),$$
 (22)
$$\varphi(\overline{\omega}) = \arg[H(e^{j\overline{\omega}})],$$
 (23)

$$A(\overline{\omega}) = \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} b_i \cos(\overline{\omega}i)}^2 + \left[\sum_{i=0}^{N-1} b_i \sin(\overline{\omega}i)\right]^2}}{\sqrt{\sum_{k=0}^{M-1} a_k \cos(\overline{\omega}k)}^2 + \left[\sum_{k=0}^{M-1} a_k \sin(\overline{\omega}k)\right]^2}}, \qquad (24)$$

$$\varphi(\overline{\omega}) = \operatorname{arctg} \frac{-\sum_{i=0}^{N-1} b_i \sin(\overline{\omega}i)}{\sum_{i=0}^{N-1} b_i \cos(\overline{\omega}i)} - \operatorname{arctg} \frac{-\sum_{k\neq 0}^{M-1} a_k \sin(\overline{\omega}k)}{\sum_{k=0}^{M-1} a_k \cos(\overline{\omega}k)}.$$
 (25)

Связь между воздействием и реакцией фильтра устанавливается не только разностными уравнениями, но и с помощью свертки [7]:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{k} h(i)x(h-i) = \sum_{i=0}^{k} x(i)h(h-i),$$
 (26)

где h(k) — импульсная характеристика фильтра. Для КИХ-фильтра k=N-1, отсчеты импульсной характеристики равны коэффициентам фильтра $h(i)=b_i$; для БИХ-фильтра $k=\infty$, а отсчеты импульсной характеристики определяются через коэффициенты a_k и b_i сложным образом.

Из (16), (17) и (26) видно, что для вычисления результатов фильтрации необходимо многократно выполнять следующие операции: сложение, вычитание, умножение, сдвиг.

Перечисленные операции являются базовыми операциями.

Цифровой спектральный анализ — это совокупность разнообразных методов обработки цифровых сигналов, которые позволяют оценить частотный состав (спектр) исследуемого сигнала. Задача спектрального анализа может носить как самостоятельный характер (например, в радарной метеорологии для оценки скорости воздушных потоков, в геофизике для поиска месторождений полезных ископаемых и т. п.), так и вспомогательный (в системах компрессии речи и изображений, компенсации помех и фильтрации).

В ЦОС важнейшими сигналами являются периодические последовательности с периодом отсчетов N и последовательности конечной длины в N отсчетов.

Для периодических последовательностей вводится дискретное преобразование Фурье (ДПФ):

прямое ДПФ

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nk}, \quad 0 \le k \le N-1, \tag{27}$$

обратное ДПФ (ОДПФ)

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W_N^{-nk}, \quad 0 \le n \le N-1,$$
 (28)

где X(k)-k-я комплексная амплитуда (составляющая) спектра (ДПФ); x(n) — отсчеты дискретного сигнала (периодического с

периодом N или конечной длины N); W_N^{nk} — поворачивающий множитель (или ядро преобразования) [4]:

-applied for the content of the content of
$$W_N^{nk}$$
 and the content of the content of W_N^{nk} -expected by the content of W_N^{nk} -expected by the content of the content of W_N^{nk} -expected by the content of the content of W_N^{nk} -expected by the content of W_N^{nk} -expe

Составляющие спектра X(k) имеют период N и располагаются по частотной оси с интервалом

$$\Delta \omega = 2\pi/NT_3, \quad T = 1/f_{\pi}, \quad (30)$$

Этот интервал называется частотой преобразования. Составляющая с номером k располагается на частоте

ika dan merangangang mengan atawah pada bahan bahan bebahan dan berhipadah padah padah padah padah padah padah

$$\omega_{k} = \Delta \omega k, \quad X(k) = X(e^{jk\Delta \omega}).$$
 (31)

Говорят, что ДП Φ является N-точечным, если оно содержит N составляющих спектра. Модуль ДП Φ |X(k)| представляет собой спектр амплитуд, аргумент ДП Φ — это спектр фаз

1. Sente while tender (Letter appears to least a configuration
$$\phi(k) = \arg X(k)$$
 .

Это же преобразование можно применить и к последовательности конечной длины, рассматривая ее как один период повторяющейся последовательности.

Смысл ДПФ для дискретных периодических сигналов и сигналов конечной длины различен. Спектр периодического дискретного сигнала с периодом N является также периодическим и дискретным, имеющим на одном периоде ровно N комплексных составляющих, поэтому ДПФ точно выражает его спектр. С дискретным сигналом конечной длины N дело обстоит несколько сложнее. Его спектр, являясь периодическим с периодом $\omega_{\rm д}$, представляет собой непрерывную функцию частоты, однако по N равноотстоящим отсчетам спектра X(k), т. е. по ДПФ, гарантируется возможность точного восстановления как непрерывного спектра $X(e^{j\omega})$, так и последовательности x(n).

Быстрое преобразование Фурье. Прямое вычисление ДПФ по формулам (27) и (28) для больших N (например, при обработке

видеосигналов длина одного фрагмента N достигает значения $2^{10}=1024$) крайне неэффективно и может стать препятствием для обеспечения реального времени. Для вычисления N-точечного преобразования требуется произвести $(N-1)^2$ комплексных умножений и N(N-1) комплексных сложений, т. е. объем вычислений имеет порядок N^2 операций сложения и умножения комплексных чисел.

Для уменьшения вычислительных затрат разработаны алгоритмы быстрого вычисления ДПФ, называемые быстрым преобразованием Фурье (БПФ) [4]. Эти алгоритмы основаны на периодичности ядра преобразования W_N^{nk} . Идея БПФ состоит в том, чтобы разделить N-точечную последовательность на две, из ДПФ которых можно получить ДПФ исходной последовательности, и продолжать такое деление каждой новой последовательности до тех пор, пока не останутся последовательности, состоящие только из двух элементов. Конечно, такое деление возможно лишь при $N=2^m$.

Алгоритм БПФ с прореживанием по времени. Исходная N-точечная последовательность x(n) делится на две N/2-точечных последовательности, одна из которых содержит отсчеты с нечетными номерами, а другая — с четными:

— четная последовательность $x_1(n) = x(2n)$,

e au andregne de la camennactie de Poétestas en roome

— нечетная последовательность $x_2(n) = x(2n+1)$ при $n=0,\,1,\,\ldots,\,N/2-1$.

Тогда N-точечное ДПФ исходной последовательности x(n) преобразуется в два N/2-точечных ДПФ:

$$X(k) = \left\{ \frac{X_1(k) + W_N^k X_2(k)}{X_1(k) - W_N^k X_2(k)} \right\},\tag{33}$$

где верхняя строка дает первые N/2 составляющих ДПФ X(k), а нижняя строка — вторые N/2 составляющих, 0 < k < N/2 - 1.

Далее аналогичным образом каждое N/2-точечное ДПФ заменяется двумя N/4-точечными и т. д. Такая сортировка осуществляется до тех пор, пока не образуется N/2 последовательностей по два элемента в каждой. В результате N-точечное ДПФ сво-

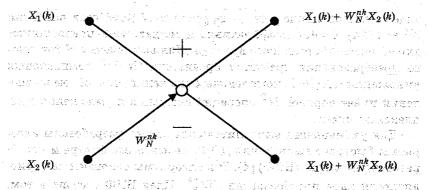


Рис. 2. Схема алгоритма с прореживанием по времени.

rigi, primitali 200 yrada je uli kula i tradevih izbezuleta. Sagrarija u 1900. godina upisa turavnovira

TO STORE THE STREET AND A STORE THE STREET OF THE

дится к $m = \log_2 N$ этапам, на каждом из которых требуется вычислить N коэффициентов. Выражения (33) показывают, что на каждом этапе требуется N комплексных сложений и N/2 комплексных умножений. Это легко видеть из направленного графа (рис. 2), на котором стрелкой обозначено умножение на W_N^{nk} . Использование такой базовой операции снижает число требуемых для вычисления N-точечного ДПФ комплексных сложений с N^2 до $\frac{3}{2}N\log_2 N$, что является существенной экономией вычислительных, а потому и временных ресурсов.

В результате сортировки отсчетов x(n) по нечетным и четным номерам входные данные записываются в необычном порядке, который называется двоичной инверсией, или бит-реверсией. Для правильного выполнения БПФ необходимо в исходном двоичном номере заменить порядок расположения разрядов на обратный (инверсный). При двоичной инверсии входной последовательности составляющие X(k) ДПФ будут расположены в естественном порядке.

Алгоритм $E\Pi\Phi$ с прореживанием по частоте. В этом случае входная последовательность x(n) делится пополам на N/2 первых и N/2 последних отсчетов и так до тех пор, пока не сформируется N/2 двухэлементных последовательностей. Базовая операция описывается выражением (29), а ее направленный граф принимает вид, представленный на рис. 3:

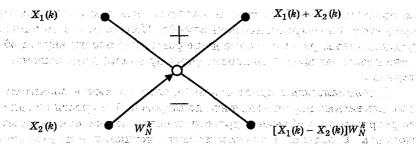


Рис. 3. Схема алгоритма с прореживанием по частоте.

$$X(k) = \begin{cases} \frac{X_1(k) + X_2(k)}{[X_1(k) - X_2(k)]W_N^k}. \end{cases}$$
(34)

CATED GATE

Вычисление согласно данному алгоритму приводит к тому, что составляющие X(k) ДПФ располагаются в порядке, соответствующем бит-реверсии, поэтому их необходимо пересортировать согласно естественному порядку.

Алгоритмы БПФ являются рекурсивными: невозможно рассчитать N/2-точечное ДПФ, не рассчитав предварительно N/4-точечное ДПФ.

Дискретное преобразование Хартли (ДПХ). Дискретное преобразование Фурье отображает последовательность вещественных данных в комплексную область, где хорошо разработаны методы анализа, существенно облегчающие изучение и трактовку колебательных процессов. Однако обработку вещественных данных желательно выполнять в вещественной области. Эту задачу решает дискретное преобразование Хартли (ДПХ), которое, как и ДПФ, может применяться в задачах спектрального анализа и цифровой фильтрации [8].

Заключение

2015年前40日 - 区内市内内部40000 - 2000年间的**经验**的。

Анализ радиолокационных характеристик мезоциклонов с торнадо (интенсивными вихрями) показывает, что по данным об отражаемости невозможно надежно обнаруживать торнадо. Доплеровский радиолокатор открывает новые перспективы в прогно-

зе опасных явлений погоды и является важным оперативным средством в метеорологической службе. Получаемое с помощью радиолокатора распределение доплеровской скорости внутри облака позволяет выделить характерные признаки мезоциклонов с торнадо.

Потенциальными признаками торнадо являются значительные изменения первого момента доплеровской скорости от одного разрешаемого объема к другому и большие значения второго момента. В облаках с такими характеристиками или уже есть торнадо, или имеется потенциальная возможность его зарождения, и они считаются опасными. Признаком, позволяющим локализовать положение вихря торнадо и хорошо коррелирующим со многими наблюдаемыми торнадо, является интенсивный азимутальный сдвиг скорости ветра. По результатам многолетних исследований мезоциклоническая циркуляция — источник циркуляции торнадо — хорошо идентифицируется на карте радиальных скоростей.

с помощью доплеровского радиолокатора можно увеличить заблаговременность прогноза интенсивных вихрей на 20 мин, что дает населению больше времени на принятие мер предосторожности.

Рассмотрены общие подходы к обработке информации доплеровских РЛС. Специфической особенностью анализа метеообъектов являются очень большие объемы информации, которая должна обрабатываться с высоким темпом обновления. Высокие требования к оперативности и объему перерабатываемой радиолокационной информации требуют использования быстрых алгоритмов расчета доплеровского спектра отраженного сигнала и применения высокопроизводительных вычислительных систем.

Для реализации алгоритмов цифровой обработки радарной информации в реальном масштабе времени необходимо использовать высокопроизводительные цифровые процессоры обработки сигналов. Прогресс в обработке, передаче и хранении различной информации связан с радикальным изменением технологических возможностей современных процессорных систем. Использование новейших высокопроизводительных сигнальных процессоров со сверхвысокой производительностью обеспечивает реализацию математикоемких алгоритмов обработки метеоинформации, что невозможно было осуществить ранее.

В обработке метеорологической информации выделяются такие направления, как линейная фильтрация, спектральный анализ, частотно-временной анализ, адаптивная фильтрация, нелинейная обработка. При этом следует использовать стандартные проверенные методы и алгоритмы.

список литературы

o regrant maggage. Da lay karawagan

Mary Gold Residence State of the

- 1. Гончаров Ю. А. Новое поколение ЦСП Texas Instruments// Компоненты и технологии, 2001, № 1.
- 2. Довиак Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. Л.: Гидрометеоиздат, 1988.
- 3. Куприянов М. С. и др. Техническое обеспечение цифровой обработки сигналов. СПб.: Наука и техника, 2000.
- 4. Марил мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения/ Пер. с англ. — М.: Мир, 1990.
- Мельников В. М. Обработка информации в доплеровских MPЛ// Зарубежная радиоэлектроника, 1993, № 4.
- 6. Новые DSP новый рывок в производительности/ Пер. с англ. ChipNews, 2000, № 10.
- 7. Солонина А. И., Яковлев Л. А. Основы построения микропроцессорных систем/ Учебное пособие. Л.: ЛЭИС, 1991.
 - 8. Уфюмов Е. П. Цифровая схемотехника. СПб.: БХВ-Петербург, 2000.
- 9. Browning K. A., Donaldson R. J. Jr. Airflow and structure of a tornadic storm// J. Atmos. Sci., 1963, 20.
- 10. Burgess D. W., Lemon L. R. Severe thunderstorm detection by radar//Radar in Meteorology (D. Atlas, Ed.). Amer. Meteor. Soc., 1990.
- 11. Carbone R. E. A severe frontal rainband. Part II: Tornado parent vortex circulation// J. Atmos. Sci., 1983, 39.
- 12. Davies-Jones R. P., Brooks H. E. Mesocyclogenesis from a theoretical perspective// The Tornado: its structure, dynamics, prediction, and hazards (C. Church et al., Eds.).—Amer. Geophys. Union, 1993, Geophysical Monograph 79.
- 13. Doswell C. A. A review for forecasters on the application of hodographs to forecasting severe thunderstorms// Nat. Wea. Dig., 1991, 16, No. 1.
- 14. Imy D. A., Burgess D. W. The structural evolution of a tornadic supercell with a persistent mesocyclone// Preprints, 25th Conf. Radar Meteorology (Paris, France). Amer. Meteor. Soc., 1991.
- 15. Klemp J. B., Wilhelmson R. B. The simulation of three-dimensional convective storm dynamics// J. Atmos. Sci., 1978, 35.
- 16. Lemon L. R. New severe thunderstorm radar identification techniques and warning criteria: A preliminary report. NOAA Tech. Memo., 1977, NWS NSSFC-1 (NTIS Accession No. PB-273049).
- 17. Lemon L. R., Doswell C. A. Severe thunderstorm evolution and mesocyclone structure as related to tornadogenesis// Mon. Wea. Rev., 1979, 107.

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ ЛИДАРНЫХ СИГНАЛОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Сложность обратной задачи лазерного дистанционного зондирования слабо рассеивающей атмосферы, зондирования, выполняемого на значительных расстояниях от лидара, обусловлена существенной ролью систематической и случайной погрешностей измерений, включая погрешности из-за сдвига нуля эхо-сигнала, неточности его коррекции на геометрический фактор и т. д.

В работе [1] найдено строгое решение этой задачи, содержащее процедуру исключения постоянной составляющей мощности, принимаемой лидаром. С этой целью было рассмотрено лидарное уравнение в виде

$$P(\vec{R}_i, \vec{r}_j) = P_*(\vec{R}_i) + Af\beta(\vec{r}_j)T_{i,j}^2,$$

$$T_{i,j} = \exp\left(-\int_{c_{i,j}} \sigma(\vec{r})dr\right).$$
(1)

- В формуле (1) введены следующие обозначёния:

T — коэффициент пропускания атмосферы;

 $P_{i,j}$ — мощность сигнала обратного рассеяния;

 $ar{r_j}$ — радиус-вектор зондируемого рассеивающего элемента;

 $ar{R}_i$ — радиус-вектор точки посылки световых импульсов и приема сигналов обратного рассеяния, причем рассматривается как однопозиционное зондирование с фиксированным радиус-вектором $ar{R}_i$, так и многопозиционное зондирование (*i*-й точке расположения приемопередатчика соответствует радиус-вектор $ar{R}_i$, i=1,2,...);

$$f = K(\vec{r}_j - \vec{R}_i)^{-2}$$
 — геометрический фактор лидара;

 $K = \kappa$ оэффициент заполнения;

А — постоянная лидара;

- β коэффициент обратного рассеяния;
- с коэффициент ослабления;
- \vec{r} текущий радиус-вектор точки прямой, проходящей через точки i,j;
- $c_{i,j}$ отрезок $[ar{R}_i,ar{r}_j]$, по которому вычисляется интеграл в уравнении (1);
 - dr элемент длины отрезка;

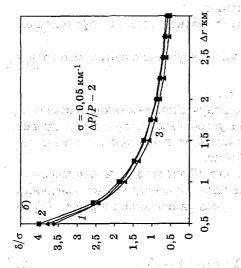
 P_* — мощность солнечного излучения, рассеянного атмосферой в направлении на приемное устройство лидара, зависящая от положения точки посылки импульсов и связанного с ним направления на исследуемый объект.

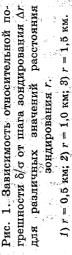
Коэффициент ослабления, его производные и производные коэффициента обратного рассеяния определяются на основании решения системы уравнений, сформулированной в работе [1]. В частности, соотношение

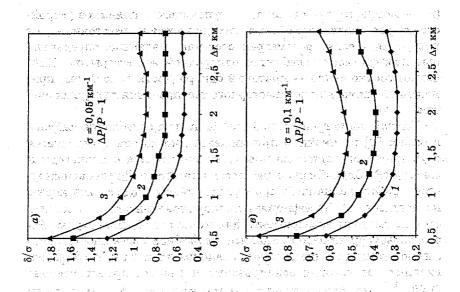
$$\left(\ln P_i'\right)' = -\frac{1}{r_i} \left\{ 2(1 + \sigma_* r_i) + \frac{1}{1 + \sigma_* r_i} \right\}$$
 (2)

 $(P_i$ — мощность эхо-сигнала, поступающего в приемное устройство от рассеивающего объема, находящегося на расстоянии r_i от лидара, $\sigma_* = \text{const}$) рассматривается как уравнение, определяющее коэффициент ослабления однородной атмосферы σ_* . Найденное соотношение — критерий однородности атмосферы, применимый также для компьютерного тестирования лидарных систем.

Случайная погрешность δ коэффициента ослабления найдена в работе [2] в линейном приближении, когда она определяется случайной погрешностью мощности эхо-сигнала и производными $\partial \sigma = \partial P_i$. Случайная погрешность мощности δP аппроксимируется в работе величиной, пропорциональной квадратному корню из мощности P. Коэффициент пропорциональности C определяется по данным эксперимента для конкретной аппаратуры. Результаты теоретического анализа случайной погрешности показывают наличие минимального значения величины $\delta = \delta_{\min}$, зависящего от условий зондирования и равного приблизительно $C(A\beta)^{-1/2}$. В работе показано, что погрешность δ/δ_{\min} может как







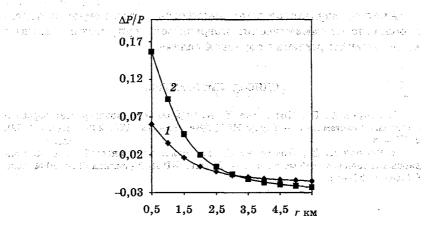


Рис. 2. Зависимость величины $\Delta P/P$ от расстояния зондирования r для менее (1) и более (2) возмущенного эхо-сигнала.

уменьшаться, так и увеличиваться при увеличении шага зондирования Δr . Данный факт объясняется усилением при этом затухания эхо-сигнала, с одной стороны, и увеличением погрешности мощности сигнала, с другой. Путем выбора шага зондирования Δr можно существенно (в несколько раз) уменьшить погрешность определения коэффициента ослабления методом лидарного зондирования.

С использованием экспериментальных данных [1] в настоящей работе был выполнен анализ систематической погрешности коэффициента ослабления атмосферы. Решалась прямая (1) и обратная (2) задачи. Для заданного значения о рассчитывалась мощность P, которая изменялась на величину ΔP . По измененной мощности вычислялось приближенное значение коэффициента ослабления. Погрешность δ определялась как разность между приближенным и заданным значениями рассматриваемого коэффициента. На рис. 1 представлена относительная погрешность δ/σ как функция переменных Δr , r, σ , где Δr — шаг зондирования, r — расстояние зондирования, P — мощность сигнала на расстоянии r от лидара. Величина $\Delta P/P$, для которой выполнены расчеты, приведена на рис. 2.

Анализ результатов выполненных расчетов показывает, что небольшие систематические погрешности существенно влияют на результаты решения обратной задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Егоров А. Д., Потапова И. А. Определение характеристик аэрозоля лидарными системами. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2002, вып. 4 (552), с. 14—18.
- 2. Егоров А. Д., Потапова И. А. Анализ погрешностей обращения лидарных сигналов малой мощности. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2004, вып. 6 (554), с. 62—66.

and Street began to span attribute and well in the stift

Comment of the same of

് പ്രവാധ പ്രധാന വര്യം വരുന്നു. പ്രത്യാന് വരു വരുന്നു വരു വരുന്നു വരുന്നു വരുന്നു വരുന്നു വരുന്നു. വരുന്നു വരുന പ്രവാശ വരുന്നു വരുന്നു പ്രത്യാന് പ്രത്യാന് വരുന്നു വരുന്നു വരുന്നു വരുന്നു പ്രത്യാന് പ്രത്യാന് വരുന്നു വരുന്നു പ്രത്യാപ്പര്യാന് പ്രത്യാന് പ്രത്യാന് പ്രത്യാന് പ്രത്യാന് പ്രത്യാന് പ്രത്യാന് വരുന്നു വരുന്നുന്നു വരുന്ന

Prop. Difference (AND Prop. Comp.) And Comp. Difference (AND Comp.)

BWHURESC S

The second set of the season of the second s

un respectation and in the properties of the pro

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ И ПОЛЕЙ В ЭЛЕКТРОАКТИВНОЙ ЗОНЕ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА

และเห็ย ของของบุรกฤษของวงทุกการ และพระที่ การได้ แก้วันเดิมเดิม เลื่อง

Пля интерпретации экспериментальных данных по молниевой (электрической) активности грозовых облаков необходимо использовать методы математического моделирования электризации конвективных облаков с использованием механизмов электризации, дающих наиболее эффективный рост во времени электрических зарядов и полей в грозовых облаках. Наиболее важным понятием в этой связи является понятие об электроактивной зоне облака как области, гле происходят наиболее интенсивное заряжение облачных частиц и частиц осадков при их столкновениях, а также возникновение сильных электрических полей в результате седиментации частиц осадков и выноса за счет конвективных потоков более дегких облачных частиц, заряженных электрическим зарядом противоположного знака, к вершине облака. Результаты исследований, как лабораторных [1, 5, 9], так и проводившихся в натурных условиях [2, 6, 7], показывают, что наиболее эффективный механизм электризации в грозовых облаках — столкновения с отскоком ледяных кристаллов с частицами крупы/града. В этом случае электроактивная зона находится в области отрицательных температур [6].

Численные оценки плотности электрических зарядов, возникающих на ледяных облачных частицах и ледяных частицах осадков, были проведены в [3].

В настоящей работе эти расчеты проводятся с учетом различных параметризаций этого механизма [7, 10, 11]. Для цилиндрической симметричной модели электроактивной зоны рассчитывается также вертикальная составляющая напряженности электрического поля, определяемая рассчитанным распределением плотности электрического заряда на основе указанного выше механизма электризации.

Будем считать, что электроактивная зона представляет собой цилиндрическую область, простирающуюся по высоте от z = h до z = H. В этой зоне предполагается наличие частиц крупы/града,

которые растут за счет коагуляции с водяными капельками, и ледяных кристаллов (облачных ледяных кристаллов).

Предполагается, что в этой области существует конвективный поток воздуха с вертикальной скоростью w, который переносит наверх ледяные осадки, облачные ледяные частицы и водяные капельки. Будем считать, что, достигнув уровня z=H, ледяные осадки за счет коагуляции с водяными капельками приобретают скорость седиментации, равную скорости вертикального конвективного потока. С этого момента времени ледяные частицы осадков начинают двигаться вниз. Сталкиваясь с ледяными кристаллами, они заряжаются, происходит разделение этих частиц в пространстве, и формируется электрическое поле.

Для математического описания этого процесса рассмотрим следующую стационарную систему уравнений:

$$\frac{d}{dz}(w - \bar{v}_1)p_1 = S_1,$$
(2)

$$\frac{d}{dz}(w-\overline{v}_1)\overline{N}_1=0, \quad (\overline{v}_1-w)\overline{N}_1=F_1,$$
 (3)

$$\Delta \varphi = -4\pi (\rho_1 + \rho_2), \quad \vec{E} = -\text{grad } \varphi, \tag{4}$$

где ρ_2 и ρ_1 — плотности электрического заряда для частиц облачного льда и крупных ледяных частиц (крупы); \overline{N}_1 — средняя концентрация частиц крупы; \overline{v}_1 — средняя скорость седиментации для частиц крупы; F_1 — поток крупных частиц, связанный с выпадением осадков; \overline{E} — напряженность электрического поля; σ — потенциал электрического поля; σ — вертикальная координата.

adder i le a gan i rechtlar extre achtlap in eile bei gel de tada i entalliab in gebreig, egsp

Плотность электрического заряда для частиц облачного льда и частиц крупы выражается через функции распределения заряда частиц по диаметрам $Q_2(D_2)$, $Q_1(D_1)$ и функции распределения частиц по диаметрам $N_2(D_2)$, $N_1(D_1)$:

$$\rho_{1} = \int Q_{1}(D_{1})N_{1}(D_{1})dD_{1},$$

$$\rho_{2} = \int Q_{2}(D_{2})N_{2}(D_{2})dD_{2}.$$
(5)

В уравнении (1) предполагается, что скорость седиментации облачных ледяных частиц \overline{v}_2 значительно меньше скорости вертикального потока $w:\overline{v}_2<< w$. Для источникового члена S_1 , определяющего микроэлектризацию облачных ледяных частиц и частиц крупы при их взаимных столкновениях с отскоком, имеет место представление [12, 13]

PORTURANTO MENTAMBENTALISMO E DAN MARKARARARARA (MIRA PRESENTE AREA PROPERTO POR CONTROL PROPERTOR PORTURE PROPERTOR POR CONTROL PROPERTOR PORTURE PROPERTOR P

30

$$S_{1} = \frac{\pi}{4} \iint_{D_{1}D_{2}} E_{21}(D_{1} + D_{2})^{2} |v_{1}(D_{1}) - v_{2}(D_{2})| N_{1}(D_{1}, z)N_{2}(D_{2}, z)\delta q_{12}dD_{1}dD_{2}.$$
 (6)

Здесь E_{21} — эффективность столкновений с отскоком, которая определяется как $E_{21}=E_{21}^{\rm cr}E_{21}^{\rm or}$ [13], где $E_{21}^{\rm cr}$ — коэффициент столкновений, $E_{21}^{\rm or}$ — вероятность отскока или разделения частиц при столкновениях; δq_{12} — электрический заряд, переносимый от мелких ледяных частиц к крупе при столкновениях с отскоком; $|v_1(D_1)-v_2(D_2)|$ — разность скоростей седиментации.

Знаки в правых частях уравнений (1) и (2) выбраны в соответствии с тем, что при столкновениях облачного льда с частицами крупы заряд, передаваемый крупе при одном столкновении, отрицателен: $\delta q_{1,2} < 0$.

Как следует из выражения (6), для расчета функции S_1 необходимо задание распределений частиц по размерам $N_1(D_1,z)$, $N_2(D_2,z)$ как функций высоты. Для упрощения задачи предполагается, что эти две группы характеризуются средними диаметрами \overline{D}_1 и \overline{D}_2 . Такая параметризация проводилась в работах [4, 8]. Более сложные аппроксимации использовались в работах [12, 13], в которых функции распределения облачных ледяных частиц и ледяных осадков задавались в виде гамма-распределений и экспоненциальных распределений.

Представим $N_1(D_1,z)$ и $N_2(D_2,z)$ в следующем виде:

$$N_{1}(D_{1}) = \overline{N}_{1} \delta(D_{1} - \overline{D}_{1}),$$

$$N_{2}(D_{2}) = \overline{N}_{2} \delta(D_{2} - \overline{D}_{2}).$$

$$(7)$$

Тогда, подставив (7) в (6), получим:

$$S_{1} = \frac{\pi}{4} E_{21} (\overline{D}_{1} + \overline{D}_{2})^{2} |v_{1}(\overline{D}_{1}) - v_{2}(\overline{D}_{2})| \overline{N}_{1} \overline{N}_{2} \delta q_{12}, \qquad (8)$$

где \overline{N}_1 , \overline{N}_2 — функции z.

В выражении (8) диаметр крупы может изменяться за счет процесса коагуляции с водяными капельками, поэтому при седиментации будет изменяться концентрация крупных ледяных частиц \overline{N}_1 за счет роста скорости $v_1(\overline{D}_1)$. Положим $v_{10} = rac{k}{\sqrt{2}} \, \overline{D}_{10}^{1/2} = w$, где \overline{D}_{10} — средний диаметр при z = H,

 $k = \sqrt{2} \left(\frac{4\bar{g}\rho_1}{3c_D\rho} \right)^{1/2}$, \bar{g} — ускорение свободного падения, ρ_1 — плот-

ность ледяной частицы, ρ — плотность воздуха, c_D — коэффициент вентиляции ($c_D \approx 1$).

используя уравнение неразрывности (3), получаем для \overline{N}_1

$$\frac{\sqrt{2}F_{1}}{k(\overline{D}_{1}^{1/2} - \overline{D}_{10}^{1/2})}, \overline{D}_{1} = \overline{D}_{10}\left(1 + \frac{t}{t_{*1}}\right)^{2},
v_{1}(\overline{D}_{1}) = \frac{k}{\sqrt{2}}D_{10}^{1/2}\left(1 + \frac{t}{t_{*1}}\right) = v_{10}\left(1 + \frac{t}{t_{*1}}\right),
(9)$$

$$t_{*1} = \frac{8\sqrt{\overline{D}_{10}}}{kW_{B}}\rho_{1}$$

$$t_{*1} = \frac{8\sqrt{\overline{D}_{10}}}{kW_{R}}\rho_{1},$$

где $W_{\mathtt{B}}$ — водность в зоне электризации.

Используя соотношение

$$H - z = \int_{0}^{t} \left(v_{1}(\overline{D}_{1}) - w \right) dt = v_{10} \frac{1}{2} \frac{t^{2}}{t_{*1}}, \tag{10}$$

получаем для концентрации \overline{N}_1 :

$$\overline{N}_{1} = \frac{\sqrt{2}F}{kD_{10}^{1/2} \frac{t}{t_{*1}}} = \frac{\sqrt{2}F}{kD_{10}^{1/2} \left[\frac{2(H-z)}{v_{10}t_{*1}}\right]^{1/2}}.$$
 (11)

Важной характеристикой, входящей в выражения (6) и (8), является величина заряда δq_{12} , передаваемого при одном столкновении ледяным кристаллом крупной ледяной частице. Эту величину можно представить на основе обработки экспериментальных данных [7, 10] в следующем виде:

$$\delta q_{12} = kD_2^m \left| v_1 - v_2 \right|^n \left(LWC - LWC_{\rm Kp} \right) f(\tau), \quad k = 7.3 \cdot 10^{-14}, \quad (12)$$

где $LWC_{
m kp}$ — критическая водность, ниже которой знак передаваемого заряда меняется на противоположный.

Лабораторные измерения [10] показывают, что m=4, n=3. Для функции $f(\tau)$ используется представление [7]

The problem is the problem of the
$$f(\tau) = a \tau^3 + b \tau^2 + c \tau + d$$
, where $t = a t^3 + b t^2 + c \tau + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c \tau + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, and $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, and $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^2 + c t + d$, where $t = a t^3 + b t^3 + b t^3 + d t + d$, where $t = a t^3 + b t^3 + d t + d$ and $t = a t^3 + b t^3 + d t + d$ and $t = a t^3 + b t^3 + d t + d$ and $t = a t^3 + b t^3 + d t + d$ and $t = a t^3 + b t^3 + d t + d$ and $t = a t^3 + b t^3 + d t^3 + d t + d$ and $t = a t^3 + b t^3 + d t + d$ and $t = a t^3 + b t^3 + d t + d$ and $t = a t^3 + b t^3 + d t + d$ and $t = a t^3 + b t^3 + d t + d$ and $t = a t^3 + b t^3 + d$ and $t = a t^3 + b t^3 + d$ and $t = a t^3 + b t^3 + d$ and $t = a t^3 + b t^3$

Наиболее хорошее соответствие с экспериментальными данными имеет место при $a=-1,7\cdot 10^{-5}$, b=-0,003, c=-0,05, d=0,13 для переноса заряда, выраженного в фКл = 10^{-15} Кл. В выражении (12) δq_{12} выражается в кулонах.

Расчет функции охлаждения $f(\tau)$ дает температуру изменения знака заряжения $T\approx -21.5$ °C, т. е. при $T\leq -21.5$ °C $\delta q_{12}<0$, а при T>-21.5 °C $\delta q_{12}>0$ при $LWC>LWC_{\rm KD}$.

Используя представление (8)—(12) и предполагая $v_1(\overline{D}_1)>> v_2(\overline{D}_2)$ и $\overline{D}_1>>\overline{D}_2$, преобразовав (1) и (2), получаем уравнения, одно из которых описывает заряжение крупных ледяных частиц за счет столкновения с мелкими ледяными частицами, начиная с высоты z=H, а другое — заряжение мелких ледяных частиц, начиная с высоты z=h. Эти уравнения представляются в следующем виде:

$$\frac{d}{dz}(w-v_1)\rho_1 = \frac{\pi}{4}E_{12}D_{10}^2 \left(1 + \left[\frac{2(H-z)}{z_{*1}}\right]^{1/2}\right)^8 \frac{F\delta q_{12}^0 N_2}{\left[\frac{2(H-z)}{z_{*1}}\right]^{1/2}}, \quad (14)$$

$$\frac{d}{dz}(w-v_2)\rho_2 = -\frac{\pi}{4}E_{12}D_{10}^2\left(1+\left[\frac{2(H-z)}{z_{*1}}\right]^{1/2}\right)^8\frac{F\delta q_{12}^0N_2}{\left[\frac{2(H-z)}{z_{*1}}\right]^{1/2}}, (15)$$

где
$$\delta q_{\rm ng}^0 = A v_{10}^3 = A v_{10}^3 (D_{10})$$
, $A = 7.3 \cdot 10^{-14} (D_2)^4 \delta L f(\tau)$, $\delta L = LWC - LWC_{\rm KD}$, $z_{*1} = v_{10} t_{*1}$.

Из уравнений (14), (15) следует, что правая их часть в общем случае зависит от распределения водности δL в облаке по высоте, разности температур $\tau = T - T_0$, диаметра мелких кристаллов и их концентрации N_2 . Возможные случаи распределения N_2 с высотой рассмотрены в работе [5]. Первая оценка для N_2 основана на механизме замерзания, в котором кристаллы образуются в результате обзернения в узком интервале температур около -7 °C — такая температура приближенно соответствует нижнему основанию зоны заряжения. В этом случае допускается на всем протяжении зоны заряжения

The second of
$$N_2$$
 is a subsequential N_2 of N_2 in the second case N_2 in the second N_2 and the second case N_2 in the second case

где N_2^0 — концентрация кристаллов в основании зоны заряжения.

Вторая оценка основана на активизации ледяных ядер, концентрация которых увеличивается с понижением температуры:

$$\frac{N_2}{N_2^0} = \exp[0.6(T_m - T)],\tag{17}$$

где T_m — температура в основании зоны заряжения.

При таком подходе предполагается, что существует соответствие между концентрацией образующихся ледяных кристаллов и концентрацией ледяных ядер.

Наконец, в третьем подходе делается попытка простым способом промоделировать процесс образования ледяных кристаллов с помощью бокового турбулентного переноса из соседнего нисходящего потока. Если допускается, что скорость переноса не зависит от высоты, то из расчетов следует

$$\frac{N_2}{N_2^0} = 1 - e^{-\alpha z}, \qquad (18)$$

где N_2^0 — концентрация ледяных кристаллов в соседнем нисходящем потоке, $\alpha = 1 \, \mathrm{km}^{-1}$ — параметр турбулентного переноса.

В настоящей работе для проведения расчетов предполагается, что $\delta L={
m const},\ N_2={
m const},\ функция охлаждения <math>f(\tau)>0$ при $T>T_r$ и $f(\tau)<0$ при $T< T_r$, а заряд Sq_{12}^0 аппроксимируется ступенчатой функцией:

$$\delta q_{12}^{0} = \begin{cases} -\delta q_{12}^{0}, & T < -21.5 \text{ °C}, \ z > \overline{z}_{*}, \\ \delta q_{12}^{0}, & T > -21.5 \text{ °C}, \ z < \overline{z}_{*}, \end{cases}$$
(19)

где \overline{z}_* — высота уровня, на котором $T=T_r=-21.5$ °C.

Интегрируя уравнения (14) и (15) с использованием (19), получаем для ρ_1 и ρ_2 выражения в области $\overline{z}_* < z < H$:

$$\rho_1 = -\frac{1}{v_1 - w} \frac{\pi}{4} E_{12} D_{01}^2 F N_2 \left| \delta q_{12}^0 \right| \frac{z_{*1}}{9} \left[\left(1 + \left[\frac{2(H - z)}{z_{*1}} \right]^{1/2} \right)^9 - 1 \right],$$

$$\rho_{2} = \frac{1}{w} \frac{\pi}{4} E_{12} D_{01}^{2} F N_{2} \left| \delta q_{12}^{0} \right| \frac{z_{*1}}{9} \left[2 \left(1 + \left[\frac{2(H - \overline{z}_{*})}{z_{*1}} \right]^{1/2} \right)^{9} - \frac{1}{2} \left(1 + \left[\frac{2(H - \overline{z}_{*})}{z_{*1}} \right]^{1/2} \right)^{9} \right]$$

$$-\left(1+\left[\frac{2(H-z)}{z_{*1}}\right]^{1/2}\right)^{9}-\left(1+\left[\frac{2(H-h)}{z_{*1}}\right]^{1/2}\right)^{9}\right]. \tag{20}$$

Суммарная плотность электрического заряда в зоне заряжения определяется выражением

$$\rho = \rho_1 + \rho_2, \tag{21}$$

где h — нижняя граница зоны заряжения, H — верхняя граница этой зоны.

Если $\overline{z}_*=h$ и в этой области $\delta q_{12}^0=-\delta q_{12}^0$, то из (20) следует:

$$\rho_2 = \frac{1}{w} \frac{\pi}{4} E_{12} D_{01}^2 F N_2 \left| \delta q_{12}^0 \right| \frac{z_{*1}}{9} \left[\left(1 + \left[\frac{2(H-h)}{z_{*1}} \right]^{1/2} \right)^9 - \frac{1}{2} \right]$$

$$-\left(1+\left[\frac{2(H-z)}{z_{*1}}\right]^{1/2}\right)^{9}$$
 (22)

В области $h < z < \overline{z}_*$ ho_1 и ho_2 представляются выражениями

$$\rho_1 = -\frac{1}{v_1 - w} \frac{\pi}{4} E_{12} D_{01}^2 F N_2 \left| \delta q_{12}^0 \right| \frac{z_{*1}}{9} \left[2 \left(1 + \left[\frac{2(H - \overline{z}_*)}{z_{*1}} \right]^{1/2} \right)^9 - 1 - \frac{1}{2} \right]$$

$$-\left(1+\left[\frac{2(H-z)}{z_{\pm 1}}\right]^{1/2}\right)^{9},$$
 (23)

$$\rho_{2} = -\frac{1}{w} \frac{\pi}{4} E_{12} D_{01}^{2} F N_{2} \left| \delta q_{12}^{0} \right| \frac{z_{*1}}{9} \left[\left(1 + \left[\frac{2(H-h)}{z_{*1}} \right]^{1/2} \right)^{3} - \left(1 + \left[\frac{2(H-z)}{z_{*1}} \right]^{1/2} \right)^{9} \right].$$

В экспериментальной модели, рассмотренной в [11], заряд, переносимый от мелкой ледяной частицы к крупной, можно параметризировать следующим образом:

$$\delta q_{12} = \begin{cases} -|\delta q_{12}^1| & \text{при } T < -10 \text{ °C, } z > z_*, \\ |\delta q_{12}^1| & \text{при } T > -10 \text{ °C, } z < z_*. \end{cases}$$
(24)

Как следует из [11], величина передаваемого заряда зависит от водности в облачной среде, но эта зависимость не очень сильная, и в дальнейшем она учитываться не будет. Уравнения, аналогичные (14) и (15), в этом случае имеют вид

$$\frac{d}{dz}(w-v_1)\rho_1 = \frac{\pi}{4}E_{12}D_{01}^2\left(1+\left[\frac{2(H-z)}{z_{*1}}\right]^{1/2}\right)^5 \frac{F\delta q_{12}N_2}{\left[\frac{2(H-z)}{z_{*1}}\right]^{1/2}}, \quad (25)$$

$$\frac{d}{dz}w\rho_{2} = -\frac{\pi}{4}E_{12}D_{01}^{2}\left(1 + \left[\frac{2(H-z)}{z_{*1}}\right]^{1/2}\right)^{5} \frac{F\delta q_{12}N_{2}}{\left[\frac{2(H-z)}{z_{*1}}\right]^{1/2}}.$$
 (26)

Интегрируя уравнения (25) и (26), получаем выражения для ρ_1 и ρ_2 :

в области $z_* < z < H$

$$\rho_{1} = -\frac{1}{v_{1} - w} \frac{\pi}{4} E_{12} D_{01}^{2} F N_{2} \left| \delta q_{12}^{1} \right| \frac{z_{*}}{6} \left\{ \left[1 + \left[\frac{2(H - z)}{z_{*g}} \right]^{1/2} \right]^{6} - 1 \right\},$$

$$\rho_{2} = \frac{1}{w} \frac{\pi}{4} E_{12} D_{01}^{2} F N_{2} \left| \delta q_{12}^{1} \right| \frac{z_{*}}{6} \left\{ 2 \left[1 + \left[\frac{2(H - z_{*})}{z_{*g}} \right]^{1/2} \right]^{6} - \left[1 + \left[\frac{2(H - z)}{z_{*g}} \right]^{1/2} \right]^{6} \right\},$$

$$- \left(1 + \left[\frac{2(H - z)}{z_{*g}} \right]^{1/2} \right)^{6} - \left(1 + \left[\frac{2(H - h)}{z_{*g}} \right]^{1/2} \right)^{6} \right\},$$
(27)

в области $h < z < z_*$

$$\rho_{1} = -\frac{1}{v_{1} - w} \frac{\pi}{4} E_{12} D_{01}^{2} F N_{2} \left[\delta q_{12}^{1} \left| \frac{z_{*}}{6} \right|^{2} \left\{ 2 \left(1 + \left[\frac{2(H - z_{*})}{z_{*} g} \right]^{1/2} \right)^{6} - 1 - \left(1 + \left[\frac{2(H - z)}{z_{*} g} \right]^{1/2} \right)^{6} \right\},$$

$$\rho_{2} = -\frac{1}{w} \frac{\pi}{4} E_{12} D_{01}^{2} F N_{2} \left| \delta q_{12}^{1} \right| \frac{z_{*}}{6} \left\{ \left(1 + \left[\frac{2(H-h)}{z_{*g}} \right]^{1/2} \right)^{6} - \left(1 + \left[\frac{2(H-z)}{z_{*g}} \right]^{1/2} \right)^{6} \right\}. \tag{28}$$

С использованием выражений (20), (22), (23), (27), (28) были проведены расчеты распределений с высотой плотности электрического заряда крупы ρ_1 , кристаллов ρ_2 и суммарной плотности электрического заряда $\rho = \rho_1 + \rho_2$ в электроактивной зоне. В табл. 1 представлены распределения с высотой при H=7 км, $z_*=h=4$ км, w=4,26 м/с, $D_{01}=1000$ мкм, водности 1 г/м³, $t_{*1}=469$ с, $N_1=5\cdot 10^2$ м⁻³, $N_2=10^4$ м⁻³, $E_{12}\approx 1$ и с δq_{12} , определяемым (24) и равным 10^{-14} Кл. Здесь также представлены

Таблица 1 Зависимость плотности электрического заряда крупы ρ_1 , кристаллов ρ_2 и $\rho=\rho_1+\rho_2$ от высоты z в электроактивной зоне

.30	r a mar	Зави	симость б q_{12}	от температу	уры	TEACHTE.
г км	оп	ределяется (2	24)	опр	еделяется (12)
	ρ ₁ Кл/м ³	ρ ₂ Кл/м ³	р Кл/м ³	ρ ₁ Кл/м ³	ρ ₂ Кл/м ³	ρ К л/м ³
4,0	-8,46 · 10 ⁻⁹			$-1,73 \cdot 10^{-7}$	0	$-1,73 \cdot 10^{-7}$
4,2	-7,68×10 ⁻⁹	1,8·10 ⁻⁹	-5,88 · 10 ⁻⁹	$-1,48 \cdot 10^{-7}$	5,36 · 10 ⁻⁸	$-9,40 \cdot 10^{-8}$
4,4	-6,97:10 ⁻⁹	$3,47 \cdot 10^{-9}$	$-3,50 \cdot 10^{-9}$	$-1,24 \cdot 10^{-7}$	9,95 · 10 ⁻⁸	$-2,40\cdot 10^{-8}$
4,6	$-6,23 \cdot 10^{-9}$	$4,99 \cdot 10^{-9}$	$-1,24 \cdot 10^{-9}$	$-1,03\cdot 10^{-7}$	$1,39 \cdot 10^{-7}$	3,54 · 10 ⁻⁸
4,8	-5,56 10 ⁻⁹	$6,41 \cdot 10^{-9}$	0,85 · 10 ⁻⁹	-8,56 · 10 ⁻⁸	$1,73 \cdot 10^{-7}$	8,74 · 10 ⁻⁸
5,0	$-4,92 \cdot 10^{-9}$	7,72 · 10 ⁻⁹	2,80 · 10 ⁻⁹	–6,97 ्10 ^{−8}	$2,01 \cdot 10^{-7}$	$1,32 \cdot 10^{-7}$
5,2	-4,32 · 10 ⁻⁹	8,89·10 ⁻⁹	$4,57 \cdot 10^{-9}$	-5,59·10 ⁻⁸	$2,25 \cdot 10^{-7}$	1,69×10 ⁻⁷
5,4	$-3,75\cdot10^{-9}$	$9,95 \cdot 10^{-9}$	$6,20 \cdot 10^{-9}$	-4,39 ·10 ⁻⁸	$2,45 \cdot 10^{-7}$	2,01 · 10 ⁻⁷
5,6	$-3,22\cdot10^{-9}$	10,86 · 10 ⁻⁹	7,65 · 10 ⁻⁹	-3,36 · 10 ⁻⁸	$2,60 \cdot 10^{-7}$	2,27 · 10 ⁻⁷
5,8	-2,69 · 10 ⁻⁹	11,72 · 10 ⁻⁹	$9.03 \cdot 10^{-9}$	-2,51 · 10 ⁻⁸	$2,73 \cdot 10^{-7}$	2,47 · 10 ⁻⁷
6,0	$-2.27\cdot 10^{-9}$	12,46 · 10 ⁻⁹	$1,02 \cdot 10^{-8}$	-1,81 · 10 ⁻⁸	$2,82 \cdot 10^{-7}$	2,64 · 10 ⁻⁷
6,2	-1,77 · 10 ⁻⁹	13,10 · 10 ⁻⁹	$1,13 \cdot 10^{-8}$	$-1,24 \cdot 10^{-8}$	$2,89 \cdot 10^{-7}$	$2,76 \cdot 10^{-7}$
6,4	-1,38-10 ⁻⁹	13,63 · 10 ⁻⁹	$1,22 \cdot 10^{-8}$	$-0,79 \cdot 10^{-8}$	$2,94 \cdot 10^{-7}$	2,86.·10 ⁻⁷
6,6	-0,99·10 ⁻⁹	14,05 · 10 ⁻⁹	$1,31 \cdot 10^{-8}$	-0,46 · 10 ⁻⁸	$2,97 \cdot 10^{-7}$	2,935 10 ⁻⁷
6,8	$-0,64 \cdot 10^{-9}$	$14,\!41 \cdot 10^{-9}$	$1,38 \cdot 10^{-8}$	-0,21 10 ⁻⁸	$2,99 \cdot 10^{-7}$	2,97 · 10 ⁻⁷
7,0	. O	$14,73 \cdot 10^{-9}$	$1,47 \cdot 10^{-8}$	0 %	$3,00 \cdot 10^{-7}$	3,00 · 10 ⁻⁷

расчеты для тех же значений параметров, но с δq_{12} , определяемым (12), и $|\delta q_{12}^0|=10^{-14}$ Кл. Результаты расчетов показывают формирование классической дипольной модели электрической структуры грозового облака, когда внизу, под облаком, сосредоточен отрицательный заряд, а наверху — положительный. Вместе с тем результаты расчетов с использованием результатов работ [7, 10] (табл. 2), которые дают температуру реверса при $-20\,^{\circ}$ С, $\bar{z}_*=6$ км при H=7 км и h=4 км, показывают распределение

Таблица 2 Зависимости плотности электрического заряда крупы ρ_1 , кристаллов ρ_2 и $\rho=\rho_1+\rho_2$ от высоты z в электроактивной зоне, рассчитанные по формулам (20) и (23) при H=7 км, $\bar{z}_*=6$ км, h=4 км, w=4,26 м/с

z KM	ρ ₁ Кл/м ³	р ₂ Кл/м³	р Кл/м ³
4,0	$1,52 \cdot 10^{-7}$	j. 808 0	$1,52 \cdot 10^{-7}$
4,2	$1,256\cdot 10^{-7}$	-5,34 · 10 ⁻⁸	7,22 · 10 ⁻⁸
4,4	$1,019 \cdot 10^{-7}$	-9,95 10 ⁻⁸	0,24 · 10 ⁻⁸
4,6	8,035 · 10 ⁻⁸	=1,39 · 10 ⁻⁷ ∈ 8	-5,88·10 ⁻⁸
4,8	$6,12 \cdot 10^{-8}$	-1,73 · 10 ⁻⁷	-1,12 · 10 ⁻⁷
5,0	4,38-10 ⁻⁸	$-2,01\cdot 10^{-7}$	-1,57 · 10 ⁻⁷
5,2	2,87 · 10 ⁻⁸	-2,25 10 ⁻⁷	$-1,96 \cdot 10^{-7}$
5,4	1,53 · 10 ⁻⁸	$-2,45 \cdot 10^{-7}$	$-2,29 \cdot 10^{-7}$
5,6	0,31 ·10 ⁻⁸	$-2,60\cdot 10^{-7}$	-2,57·10 ⁻⁷
5,85	-0,78·10 ⁻⁸	$-2,72 \cdot 10^{-7}$	-2,80 · 10 ⁻⁷
6,0.3	-1,80·10 ⁻⁸	-2,82·10 ⁻⁷	$-3,00\cdot10^{-7}$
6,2	-1,24·10 ⁻⁸	$-2,75 \cdot 10^{-7}$	-2,87·10 ⁻⁷
6,4	-0,78·10 ⁻⁸	-2,70·10 ⁻⁷	-2,78·10 ⁻⁷
6,6	-0,46·10 ⁻⁸	-2,67·10 ⁻⁷	$-2,72 \cdot 10^{-7}$
6,8	$-0.21 \cdot 10^{-8}$	$-2,65 \cdot 10^{-7}$	-2,67·10 ⁻⁷
7,0	0 0	$-2,64 \cdot 10^{-7}$	$-2,64\cdot 10^{-7}$

плотности электрического заряда, обратное классическому, т. е. внизу располагается положительный заряд, а наверху — отрицательный.

Как следует из таблиц, в зоне от 6 до 7 км существуют отрицательно заряженные крупные частицы, что соответствует данным экспериментальных исследований [6].

Обратимся теперь к расчету напряженности электрического поля, создаваемого полученными распределениями плотности электрического заряда. Как указывалось выше, будем предполагать, что электризация происходит в цилиндре радиусом R, нижнее основание которого расположено на высоте h, а верхнее — на высоте H. Запишем уравнение (4) для потенциала электрического поля ϕ в цилиндрической системе координат, предполагая задачу осесимметричной:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right) + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = -4\pi\rho(\rho_1 + \rho_2) = -4\pi\rho(r, z, t). \tag{29}$$

Решение уравнения (29) было получено в [4]. Используя результаты этой работы, выпишем выражение для вертикальной составляющей напряженности электрического поля, осесимметричного распределения плотности электрического заряда $\rho(z)$, представленной в табл. 1, в следующем виде:

$$E_{z}(z, r = 0) = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}\Big|_{r=0} = 2\pi \int_{z}^{\infty} \rho(z')dz' \left[\frac{z'-z}{\sqrt{R^{2} + (z'-z)^{2}}} + \frac{z'+z}{\sqrt{R^{2} + (z'+z)^{2}}} - 2 \right] +$$

$$+2\pi\int_{0}^{z}\rho(z')dz'\left[\frac{z'+z}{\sqrt{R^{2}+(z'+z)^{2}}}+\frac{z'-z}{\sqrt{R^{2}+(z'-z)^{2}}}\right]. \quad (30)$$

Будем считать, что полученные выше распределения $\rho(z)$ заключены в цилиндр радиусом R. В качестве распределения плотности электрического заряда воспользуемся представленной в табл. 1 для модели передаваемого заряда (24) (модель Такахаши), причем будем предполагать, что

$$\rho(z) = \begin{cases} -8.46 \cdot 10^{-9} \text{ Km/m}^3 & \text{при } 0 < z < (h = 4 \text{ km}), \\ -1.47 \cdot 10^{-8} & \text{Km/m}^3 & \text{при } (H = 7 \text{ km}) < z < (H_1 = 9 \text{ km}), \end{cases}$$
(31)

Harry () and the fight could be counting the properties of the fight of the fight

Popular ingration at rest for administrate an anch

а при $h \ll z < H$ будем использовать табличные значения.

Распределение вертикальной составляющей напряженности электрического поля E_z на оси цилиндрического распределения плотности электрического заряда $\rho(z)$ в зависимости от высоты z при R=3 км, H=7 км, h=4 км представлено на рис. 1.

Из рисунка видно, что при z=0 $E_z(z=0)=15.45$ кВ/см, при z=4 км E_z (z=4 км) = -14.64 кВ/см и при z=7 км

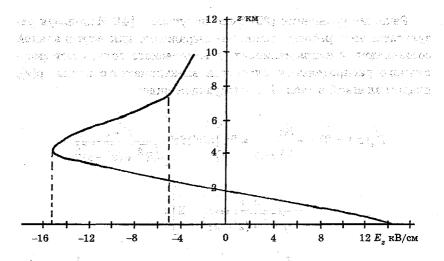


Рис. 1. Распределение вертикальной составляющей напряженности электрического поля E_z на оси цилиндрического распределения плотности электрического заряда, рассчитанного по модели Такахаши.

 $E_z~(z=7\,{\rm km})=-5,51\,{\rm kB/cm}$. Эти значения E_z довольно велики, что свидетельствует в пользу достижения значений E_z , при которых в облаке начинаются разрядные процессы.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что механизм электризации при взаимодействии ледяной крупы (крупные ледяные частицы) с ледяными кристаллами (мелкие ледяные частицы) является наиболее перспективным механизмом для объяснения грозовых процессов, так как дает возможность генерировать довольно быстро и эффективно электрические поля, близкие к разрядным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Имянитов И. М., Климин Н. Н., Дьяконова И. Н. Моделирование процессов контактной электризации облаков в камерах туманов. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1988, т. 24, № 6, с. 630—639.
- 2. Михайловский Ю. П. Эмпирическая модель электрически активных конвективных облаков и возможности ее использования для тестирования численной модели. Труды НИЦ ДЗА (филиал ITO), 2002, вып. 4 (552), с. 66—75.
- 3. Морозов В. Н. Влияние процессов коагуляции на электризацию при столкновениях ледяных кристаллов с частицами крупы-града. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2005, вып. 6.
- 4. Морозов В. Н. К вопросу использования лазеров для регулирования грозовой активности облаков. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2002, вып. 4 (552), с. 19—32.
- 5. Baker B., Baker M. B., Jayarathe E. R., Latham J. Saunders C.P.R. The influence of diffusional grow rates on charge transfer accompanying rebound collisions between ice crystals and soft-hailstones. Quart. J. R. Met. Soc., 1987, v.113, No 478, p. 1193—1215.
- 6. Dye J. E. et. al. Early Electrification and precipitation development in a small, isolated Montana cumulonimbus // J. Geophys. Res., 1986, v. 91, No D1, p. 1231—1247.
- 7. Gardiner B., Lamb D., Pitter R. L., Hallett J. Measurements of initial potential gradient and particles charges in a Montana summer thunderstorm // J. Geophys. Res., 1985, v. 90, No D4, p. 6079—6086.
- 8. Heldson J. H., Farley R. D. A numerical modeling study of a Montana thunderstorm: 2. Model results versus observations involving electrical aspects // J. Geophys. Res., 1987, v. 92, No D5, p. 5661—5675.
- 9. Jayaratne E. R., Saunders C.P.R., Hallett J. Laboratory studies of the charging of soft-hail during ice crystal interaction. Quart. J. R. Met. Soc., 1983, v. 1, No 461, p. 609—630.
- 10. Saunders C.P.R., Keith W.D., Mitzeva R.P. The effect of luquid water on thunderstorm charging // J. Geophys. Res., 1991, v. 96, No D6, p. 11.007—11.017.

11. Takahashi T. Riming electrification as a charge generation mechanism in thunderstorms. — J. Atmos. Sci., 1978, v. 35, No 6, p. 1536—1548.

12. Ziegler C. L., Ray P. S., MacGorman D. R. Relations of Kinematics Microphysics and Electrification in an Isolated Mountain Thunderstorm. — J. Atmos. Sci., v. 43, No 19, p. 2098—2114.

13. Ziegler C. L., MacGorman D. R., Dye J. E., Ray P. S. A model evolution of noniunductive charging in the early electrification of Mountain thunderstorm // J. Geophys. Res., 1991, v. 96, No D7, p. 12.833—12.855.

CHRESTER AND THE DESCRIPTION

NOW ROTHERS FOR STREET

. 1. V. Lekatarra M. M. Miarra and restricted a second of a second of the second and sec

and the construction of the construction of the property of the Construction of the co

i ja medikint S. aši, oli aoparposen karendriak kiene pietoji in proprese trengos. Carilia karende ezertakin jai - - Topeni killiš sida, ghane ag ili delokultu kare. (Bisi) , oli kili as

కి మెకునుంది కొన్నితున్నాని కొన్ని కొన్నుకున్నారు. ప్రక్షు మహిత్ నుమ్ములు కొన్నికి మెక్కువుకున్నారు. - సినికి మెక్కికి మేములును ఉన్నికి కారుకున్నారు. ప్రకాణ ముందుకుండి మార్గున్నారు. ముందుకున్నారు. మార్గుతున్నారు - మాత్రంలో ముందికి కొన్నికి ముందును మార్గుమున్ని మెక్కువున్నారు. మార్గున్ని ముందున్ని ముందున్ని ముందున్ని మార్గ - సినికి మండుకున్నారు. మందున్నారు. ముందున్ని ముందున్నారు. ముందున్నారు. ముందున్ని ముందున్ని ముందున్ని ముందున్ని

on in compression of the language final or an interest of the language of the language final of the language of the language final or an order of the language of the language final or the language of the la

ි දින ස්වානයෙන්නෙන්න විට මෙනත් සම දින දැන මින වෙන්නේ දැන්න දැන්නේ මින ස්වානයෙන්නේ මින දින සිට මින මින මින මින මෙන්නේ සේ සේව සම සම දෙන්නේ දැන්නේ සේව සේව සේවයේ සම්බන්ත වෙන සම සම සම සම සම්බන්ත සම සම සම සම සම සම සේව සේවයේ සේ එය සේවයේ සම සම්බන්ධ සම සම්බන්ධ සේවයේ සම සේවයේ සම්බන්ධ සම සම්බන්ධ සම සම්බන්ධ සම සම සේවයේ සම සේවයේ සම සේවයේ සම ස

ంటే 150 మే కారు గాడు క్రిమెక్స్ కార్పడింది. దీమికు కొడ్డానికి అనే కార్స్ మే మండుకే ఆరో కే కోస్పడించింది. కేస్ జేవిలో ప్రమాగులు కార్పడించింది. కారణ ఈ ఈ కేస్పలు, అనే కోస్సులు ముఖ్యంతు కెప్పడిన కోస్పడించిన ప్రాంతించిన మండుకే కోస్పు కోస్పు కోస్పు కార్పడించిన మండుకే ముఖ్యంతు ప్రాంతి కార్మాడించిన కార్వానికి మండుకే మండి కార్స్ కోస్పు కోస్పు మండుకు ప్రాంతి ప్రాంతి ముఖ్యంతు కార్వానికి కె

rad Beddung i publikkerketek uitust pitat 1960 julit 1960 julit 2000 julit 1960 julit 1960 julit 1960 julit 19 Luurit 1960 julit 1960 julit 1960 julit 200 julit 1960 julit 1972 ja vuota valta valta valta 1960 julit 1960 j Luurit 1960 julit 1960

మ్ములు 19. కోజులుకు ఉంటోలో కొన్నారు. అందుకుంటే లోకి కొంటు కుండా కొన్నారు. ఈ సంత్రీకు మండుకు మాల్లి అయ్యకుల్ కార్కట్లు కొన్నట్లు కార్క్ ఉంది. మండుకుంటే కొన్నారుకు ఉంది. కారుకు మండుకు మండుకు మండుకు మండుకు కార్యక్లు కారణముకు మండుకు మ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО НЕСТАЦИОНАРНЫМ ТОКОМ ЗАРЯЖЕНИЯ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА В АТМОСФЕРЕ С НЕОДНОРОДНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

1. Введение

Задача о распределении электрического поля, создаваемого электрическими зарядами, генерируемыми в облаке, в атмосфере с неоднородной электрической проводимостью имеет важное значение для интерпретации экспериментальных данных, полученных в результате измерения электрических полей в наземных, самолетных и зондовых экспериментах, проводимых вне облака или облачной системы. Ее решение необходимо также для теории глобальной электрической цепи, так как позволяет оценить электрический ток, даваемый облачной зарядовой структурой в верхние слои атмосферы [6, 7].

Для стационарного варианта решение этой задачи было получено в работах [7, 10]. Нестационарный вариант задачи, который представляет наибольший интерес для практических целей, не имеет простого решения, характерного для стационарного случая. В работах [9, 11, 12] сделаны попытки получить аналитическое решение нестационарной задачи, но в работе [11] решение не доведено до конда, работа [12] не совсем корректна в математическом плане, так как неясны границы применения полученного приближенного решения, а работа [9] просто констатирует невозможность получения решения в аналитическом виде.

Вместе с тем в настоящее время получил развитие численный метод решения нестационарной задачи о взаимодействии зарядовой структуры с окружающей неоднородной по электрической проводимости атмосферой [6, 8], причем в этих работах была разработана разностная схема решения нестационарной задачи. Основное модельное нестационарное уравнение, которое использовалось в указанных выше работах, имеет вид

$$\frac{1}{4\pi}\frac{\partial}{\partial t}\Delta\varphi + \nabla(\lambda\nabla\varphi) = S,$$
 (1)

где ϕ — потенциал электрического поля; S — функция источника, определяемая процессами электризации в облаке; λ — электрическая проводимость в атмосфере, которая представляется в следующем виде [6]:

$$\lambda = \lambda_0 e^{\alpha z} \tag{2}$$

Уравнение (1) следует из уравнения непрерывности плотности электрического заряда и уравнения Пуассона [2, 6], причем для напряженности электрического поля \vec{E} используется потенциальное приближение: $\vec{E} = -\nabla \phi$.

В настоящей работе рассматривается аналитическое решение задачи о распределении электрического поля, создаваемого нестационарным токовым источником, включаемым в момент времени t=0 на основе уравнения (1). Как мы увидим ниже, эта задача следует из более общей постановки задачи об электромагнитном поле токового источника в неоднородной по электрической проводимости атмосфере в пределе $c\to\infty$, где c — скорость света.

на 1924 год востановка задачи. Метод решения бавтал востановка задачи. Метод решения

Рассмотрим задачу об электромагнитном поле, создаваемом нестационарным токовым источником, находящимся в проводящей атмосфере с экспоненциальной проводимостью (2) над горизонтальной идеально проводящей земной поверхностью. Предполагая, что $\varepsilon=1$, $\mu=1$ (ε — диэлектрическая проницаемость, μ — магнитная проницаемость), выпишем систему уравнений Максвелла [2]:

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}, \quad \operatorname{rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c} (\vec{j} + \vec{j}_{\mathrm{CT}}) + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t},$$

$$\operatorname{div} \vec{E} = 4\pi\rho, \quad \operatorname{div} \vec{H} = 0, \quad \vec{j} = \lambda \vec{E},$$
(3)

где \vec{E} и \vec{H} — напряженности электрического и магнитного полей, \vec{j} и $\vec{j}_{\rm cr}$ — плотности омического и стороннего электрических токов, ρ — плотность электрического заряда.

Воспользуемся далее представлением векторов $ar{E}$ и $ar{H}$ через векторный и скалярный потенциалы $ar{A}$ и ϕ [2]:

$$\vec{H} = \operatorname{rot} \vec{A}, \quad \vec{E} = -\nabla \varphi - \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}.$$
 (4)

Рассматривая задачу в цилиндрической системе координат (r, ϕ, z) , где ось z проходит перпендикулярно земной поверхности через источник, предполагая задачу осесимметричной $\left(\frac{\partial}{\partial \phi} = 0\right)$,

 $j_{\rm cT}=(0,0,j_{\rm cT}^{\,z})$ и $\vec{A}=(0,0,A_z)$, используя (4), получаем из уравнения для rot \vec{H} следующие его компоненты по координатам z и r:

$$-\left(\frac{\partial^{2} A_{z}}{\partial r^{2}} + \frac{1}{r} \frac{\partial A_{z}}{\partial r}\right) = \frac{4\pi}{c} \left[-\lambda \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} + \frac{1}{c} \frac{\partial A_{z}}{\partial t}\right) + j_{\text{cT}}^{z}\right] - \frac{1}{c} \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial t \partial z} - \frac{1}{c^{2}} \frac{\partial^{2} A_{z}}{\partial t^{2}},$$
(5)

$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial r \partial z} = -\frac{4\pi\lambda}{c} \frac{\partial \varphi}{\partial r} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \partial t}.$$
 (6)

Из уравнения (6) следует соотношение

$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial z} + \frac{4\pi\lambda}{c} \varphi + \frac{1}{c} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = C(z, t). \tag{7}$$

Постоянная C(z,t)=0, так как при $r\to\infty$ $\phi\to0$, $A_z\to0$.

Пусть сторонний электрический ток $j_{\text{ст}}^2$ включен в момент времени t=0. Граничные и начальные условия для уравнений (5), (7) записываются в следующем виде:

Применяя к этим уравнениям последовательно преобразования Фурье—Бесселя и Лапласа [3]

$$\hat{f}(x,z,p) = \int_{0}^{\infty} e^{-pt} dt \int_{0}^{\infty} f(r,z,t) J_{0}(xr) r dr,$$

$$f(r,z,t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} e^{pt} dp \int_{0}^{\infty} \hat{f}(x,z,p) J_{0}(xr) x dx$$
(9)

и производя несложные преобразования, получаем следующие уравнения для определения функций $\hat{\phi}$ и \hat{A}_z :

$$\frac{d^{2}\hat{\varphi}}{dz^{2}} + \frac{4\pi\lambda'_{z}x^{2}}{(p+4\pi\lambda)\left(x^{2} + \frac{4\pi\lambda p}{c^{2}} + \frac{p^{2}}{c^{2}}\right)} \frac{d\hat{\varphi}}{dz} - \left(x^{2} + \frac{4\pi\lambda p}{c^{2}} + \frac{p^{2}}{c^{2}}\right) \hat{\varphi} = \frac{4\pi}{p+4\pi\lambda} \frac{d\hat{j}_{cT}^{z}}{dz} - \frac{\frac{16\pi^{2}p}{c^{2}}\lambda'_{z}\hat{j}_{cT}^{z}}{(p+4\pi\lambda)\left(x^{2} + \frac{4\pi\lambda p}{c^{2}} + \frac{p^{2}}{c^{2}}\right)} - \frac{\bar{\varphi}|_{t=0} \left(x^{2} + \frac{4\pi\lambda p}{c^{2}} + \frac{p^{2}}{c^{2}}\right)}{p+4\pi\lambda} + \frac{\frac{d^{2}\hat{\varphi}|_{t=0}}{p+4\pi\lambda}, \tag{10}$$

$$\frac{d^{2}\hat{A}_{z}}{dz^{2}} - \frac{4\pi\lambda'_{z}}{p+4\pi\lambda} \frac{d\hat{A}_{z}}{dz} - \left(x^{2} + \frac{4\pi\lambda p}{c^{2}} + \frac{p^{2}}{c^{2}}\right) \hat{A}_{z} = \frac{4\pi\hat{j}_{cT}^{z}}{2} - \frac{4\pi\lambda'_{z}}{2} \frac{\bar{\varphi}|_{t=0}}{2}, \tag{11}$$

где ϕ — преобразование Фурье—Бесселя от потенциала электрического поля.

Граничные условия для решения уравнений (10), (11) имеют следующий вид:

$$\frac{\partial \hat{A}_z}{\partial z}\bigg|_{z=0} = 0, \quad \hat{A}_z\bigg|_{z\to\infty} = 0, \quad \hat{\varphi}\bigg|_{z=0} = 0, \quad \hat{\varphi}\bigg|_{z\to\infty} = 0. \quad (12)$$

าราชาการ์ด โดย เกาะสาร์ด เพลาะสาร์ด ส

Определив \hat{A}_z и $\hat{\varphi}$, можно найти A_z и φ , используя формулу обращения в (9). При $c\to\infty$ уравнения (10), (11) в пренебрежении членами ~ $1/c^2$ приобретают следующий вид:

$$\frac{d^{2}\hat{A}_{z}}{dz^{2}} - \frac{4\pi\lambda'_{z}}{p + 4\pi\lambda} \frac{d\hat{A}_{z}}{dz} - x^{2}\hat{A}_{z} = -\frac{4\pi}{c}\hat{j}_{cr}^{z} - \frac{4\pi\lambda'_{z}\overline{\phi}|_{t=0}}{c(p + 4\pi\lambda)},$$
 (13)

$$\frac{d^2\hat{\varphi}}{dz^2} - \frac{4\pi\lambda'_z}{p + 4\pi\lambda} \frac{d\hat{\varphi}}{dz} - x^2\hat{\varphi} = \frac{4\pi}{p + 4\pi\lambda} \frac{d\hat{j}_{cr}^z}{dz} + \frac{\int_{t=0}^{\infty} \Delta \varphi|_{t=0} J_0(xr)dr}{p + 4\pi\lambda}. \quad (14)$$

Уравнение (14) следует из уравнения (1), если преобразовать его согласно рассмотренной выше методике.

Задача нахождения плотности стороннего электрического тока является задачей моделирования облачных электрических полей. Самое простое представление для стороннего электрического тока имеет вид [8, 13]

$$I_{\rm cr}^z = n_1 q_1 v_1 \left(1 - e^{-t/\tau}\right) \tilde{S},$$
 (15)

где n_1 и q_1 — концентрация и заряд крупных частиц; v_1 — скорость их седиментации; τ — время релаксации, обусловленное взаимодействием крупных частиц с мелкими; \tilde{S} — площадь поверхности, через которую этот ток протекает.

Тогда плотность стороннего электрического тока в приближении узкого канала, по которому этот ток течет, можно аппроксимировать следующим выражением:

$$j_{\text{CT}}^{z} = I_{\text{CT}}^{z} \delta(x - x_{0}) \delta(y - y_{0}) [\theta(z - z_{n}) - \theta(z - z_{p})], \tag{16}$$

где $\delta(u)$ — функция Дирака; $\theta(u)$ — функция Хевисайда [2].

В случае если этот канал имеет конечный радиус a, то для $j_{\rm cr}^z$ можно записать выражение

$$j_{\text{cT}}^{z} = \frac{I_{\text{cT}}^{z}}{\pi a^{2}} [\theta(z - z_{n}) - \theta(z - z_{p})]. \tag{17}$$

Переходя к производным по координате z от этих выражений, получаем:

$$\frac{dj_{\text{cT}}^{z}}{dz} = I_{\text{cT}}^{z} \delta(x - x_{0}) \delta(y - y_{0}) [\delta(z - z_{n}) - \delta(z - z_{p})],$$

$$\frac{dj_{\text{cT}}^{z}}{dz} = \frac{I_{\text{cT}}^{z}}{\pi a} [\delta(z - z_{n}) - \delta(z - z_{p})].$$
(18)

电流动脉 医闭门 编记记记的第三人称形式 化磺胺溴化环氨基氯化化 法调查证据

Первое выражение в (18) использовалось в работах [7, 10]. Более сложное представление для S, учитывающее пространственную зависимость функции источника от r и z, рассматривалось в работе [6].

3. Решение задачи для точечного зарядового источника

Общее решение уравнения (14) при граничных условиях (12) с учетом одного члена в первом выражении (18) находится с помощью стандартных методов решения дифференциальных урав-

нений [5]. При
$$\left| \frac{e^{\alpha z}}{p \tau_0} \right| < 1$$
 оно имеет вид

$$\hat{\varphi} = c_1 y_1 + c_2 y_2 - y_1 \int_0^z \frac{f(z')}{\Delta(z')} y_2 dz' + y_2 \int_0^z \frac{f(z')}{\Delta(z)} y_1 dz',$$

$$y_1 = \left(\frac{1}{p\tau_0}e^{\alpha z}\right)^{\overline{\alpha}_1}F\left(\overline{\alpha}_2,\overline{\beta}_2,\gamma_1,-\frac{1}{p\tau_0}e^{\alpha z}\right),$$

$$y_2 = \left(-\frac{1}{p\tau_0}e^{\alpha z}\right)^{1-\gamma+\overline{\alpha}_1}F\left(\overline{\alpha}_2-\gamma_1+1,\overline{\beta}_2-\gamma_1+1,2-\gamma_1,-\frac{1}{p\tau_0}e^{\alpha z}\right),$$

$$f(z) = -\frac{2\hat{I}_{1}(p)}{p + 4\pi\lambda} \delta(z - z_{1}) + \frac{1}{p + 4\pi\lambda} \int_{0}^{\infty} \Delta \phi \Big|_{t=0} J_{0}(xr) r dr, \qquad (19)$$

$$\Delta(z) = y_1 y_2' - y_1' y_2, \quad y_i' = \frac{dy_i}{dz}, \quad i = 1, 2,$$

где $\hat{I}_1(p)$ — образ преобразования Лапласа от тока $I_1(t) = I_{\rm cr}^z(t)$, $\tau_0 = (4\pi\lambda_0)^{-1}$,

$$\overline{\alpha}_{1} = \frac{x}{\alpha}, \overline{\alpha}_{2} = \frac{x}{\alpha} + \frac{\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4x^{2}}{\alpha^{2}}}\right)}{2}, \overline{\beta}_{2} = \frac{x}{\alpha} + \frac{\left(1 - \sqrt{1 + \frac{4x^{2}}{\alpha^{2}}}\right)}{2}, \gamma_{1} = 1 + \frac{2x}{\alpha}.$$

 $F(\tilde{lpha},eta,\gamma,u)$ — гипергеометрическая функция.

teamie krywia. Yna Au'n de

При $\left|p au_0e^{-\epsilon x}\right|<<1$ для общего решения получим выражение

ena las el el el de <mark>nacesaro</mark>na en referiro la contra deser la mista de la contra de la contra de la contra de la

$$\hat{\varphi} = \overline{c}_1 \overline{y}_1 + \overline{c}_2 \overline{y}_2 - \overline{y}_1 \int_0^z \frac{f(z')}{\overline{\Delta}(z')} dz' \overline{y}_2 + \overline{y}_2 \int_0^z \frac{f(z')}{\overline{\Delta}(z')} \overline{y}_1 dz',$$

$$\overline{y}_1 = \left(-p\tau_0 e^{-\alpha z}\right)^{\alpha_1} F\left(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_0 e^{-\alpha z}\right), \tag{20}$$

$$\overline{y}_{2} = \left(-p\tau_{0}e^{-\alpha z}\right)^{1-\gamma+\alpha_{1}}F\left(\overline{\alpha}-\gamma+1,\overline{\beta}-\gamma+1,2-\gamma,-p\tau_{0}e^{-\alpha z}\right),$$

$$\overline{\Delta} = \overline{y}_1 \, \overline{y}_2' - \overline{y}_1' \, \overline{y}_2,$$

$$\alpha_1 = \frac{\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4x^2}{\alpha^2}}\right)}{2}, \quad \overline{\alpha} = \frac{x}{\alpha} + \frac{\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4x^2}{\alpha^2}}\right)}{2},$$

$$\beta = -\frac{x}{\alpha} + \frac{\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4x^2}{\alpha^2}}\right)}{2}, \quad \gamma = 1 + \sqrt{1 + \frac{4x^2}{\alpha^2}},$$

 $(c_1,c_2,\overline{c}_1,\overline{c}_2) \leftarrow ext{постоянные}.$

Рассмотрим первое решение уравнения (19), соответствующее значениям переменной $\left| \frac{e^{\,\alpha z}}{p \tau_0} \right| < 1$. Малость значений этого аргу-

мента
$$|u| = \left| \frac{e^{\alpha z}}{p \tau_0} \right| << 1$$
 соответствует большим значениям $|p|$ или ма-

лым значениям времени t [3]. Поэтому это решение соответствует малым значением времени, прошедшего от момента включения токового источника или от момента появления в некоторой области атмосферы электрического заряда Q. В общем случае оба эти процесса могут идти одновременно, но в настоящей работе мы рассмотрим их раздельно, чтобы не загромождать изложение.

шения (19) в область
$$\left| \frac{1}{p\tau_0} \right| e^{\alpha z} > 1$$
 [1] и определяя постоянные

 c_1 и c_2 с помощью граничных условий (12), получаем асимптотическое решение, соответствующее условиям $\left| \frac{e^{\alpha z}}{p \tau_0} \right| <<1, \frac{\tau_0}{t} >>1,$ $z < h(p) = \frac{1}{\alpha} \ln p \tau_0$, $r >> \alpha^{-1}$:

$$\varphi_1 = \frac{2}{2\pi i} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} \hat{I}_1(p) \frac{e^{pt}}{p} dp \int_0^{\infty} \frac{\operatorname{sh} z \operatorname{sh} x(h(p)-z_1)}{\operatorname{sh} xh(p)} J_0(xr) dx, \quad z < z_1,$$

$$\varphi_{2} = \frac{2}{2\pi i} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} \hat{I}_{1}(p) \frac{e^{pt}}{p} dp \int_{0}^{\infty} \frac{\sinh z_{1} \sinh (h(p)-z)}{\sinh x h(p)} J_{0}(xr) dx, \quad z > z_{1}, \quad (21)$$

$$\varphi_3 = \frac{2}{2\pi i\alpha} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} \hat{I}_1(p) \frac{e^{pt}}{p} dp \int_0^{\infty} \frac{\sinh xz_1}{\sinh xh(p)} e^{-\alpha(z-h(p))} J_0(xr) x dx, \quad z > h(p).$$

Если в момент времени t=0 в атмосфере возник электрический заряд Q, то в формулах (21) I(p) заменяется на Q. При $\ln\frac{\tau_0}{t}>>1$ и $\hat{I}_1(p)=\frac{I_0}{p(1+p\tau)}$, что соответствует $I_1(t)=I_0(1-e^{-t/\tau})$, получим асимптотическое решение уравнения (18):

$$\varphi_1 = 2I_0 \int_0^t \left(1 - e^{-\frac{t - \tilde{\tau}}{\tau}}\right) d\tilde{\tau} \int_0^\infty \frac{\sinh z \sinh x (h(\tilde{\tau}) - z_1)}{\sinh x h(\tilde{\tau})} J_0(xr) dx, \quad z < z_1,$$

$$\varphi_2 = 2I_0 \int_0^t \left(1 - e^{-\frac{t - \tilde{\tau}}{\tau}}\right) d\tilde{\tau} \int_0^\infty \frac{\sinh x z_1 \sinh x (h(\tilde{\tau}) - z)}{\sinh x h(\tilde{\tau})} J_0(xr) dx, \quad z > z_1, \quad (22)$$

$$\varphi_{3} = \frac{2I_{0}}{\alpha} \int_{0}^{t} \left(1 - e^{-\frac{t - \tilde{\tau}}{\tau}}\right) d\tilde{\tau} \int_{0}^{\infty} \frac{\sinh xz_{1}}{\sinh xh(\tilde{\tau})} e^{-\alpha(z - h(\tilde{\tau}))} J_{0}(xr)xdx,$$

$$z > h(t) = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{\tau_{0}}{t}.$$

$$z>h(t)=\frac{1}{\alpha}\ln\frac{\tau_0}{t}.$$

При $\Delta \phi |_{t=0} = -4\pi Q \delta (\vec{r} - \vec{r}_1)$ и $I_0 = 0$ для ϕ_1 имеем.

$$\phi_1 = 2Q \int_0^\infty \frac{\sinh z \sinh x (h(t) - z_1)}{\sinh x h(t)} J_0(xr) dx, \quad z < z_1.$$
 (23)

Используя выражение (23), найдем выражение для напряженности электрического поля при z=0. Соответствующие вычисления дают:

$$E_{1z|_{z=0}} = -2Q \int_{0}^{\infty} \frac{\sinh x(h(t) - z_{1})}{\sinh xh(t)} J_{0}(xr) dx.$$
 (24)

При r > h(t) получим, вычисляя интеграл в (24), следующее асимптотическое выражение для $E_{1z}|_{z=0}$:

$$E_{1z|_{z=0}} \approx -\frac{4\pi Q}{h^2(t)} \sin \frac{\pi(h(t)-z_1)}{h(t)} K_0\left(\frac{\pi r}{h(t)}\right) \approx$$

$$\approx -\frac{4\pi Q}{h^2(t)} \sin\frac{\pi z_1}{h(t)} \left(\frac{h(t)}{2r}\right)^{1/2} e^{-\frac{\pi r}{h(t)}},\tag{25}$$

где $K_0(x)$ — функция Макдональда [4]. При r < h(t) имеем

$$E_{1z|_{z=0}} = -\frac{2Qz_1}{\left(r^2 + z_1^2\right)^{3/2}} \left\{ \frac{\left[2h(t) - z_1\right]\left(r^2 + z_1^2\right)}{\left\{r^2 + \left[2h(t) - z_1\right]^2\right\}^{3/2} z_1} \right\}.$$
 (26)

Физический смысл масштаба высоты h(t) состоит в следующем: h(t) отделяет область с малыми значениями времени электрической релаксации, где стационарное электрическое поле устанавливается быстро, от области, где влияние электрической проводимости мало.

Высота h(t) определяется из условия

randre lawered.

$$4\pi\lambda_0 e^{\alpha h(t)} = 1. \tag{27}$$

Из (27) получим выражение для h(t), которое нами было получено из общего решения задачи:

$$h(t) = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{\tau_0}{t}. \tag{28}$$

Приведем некоторые оценки величины h(t). При $\alpha=0,2$ км $^{-1}$, $\tau_0=10$ мин и t=10 с получаем h(t)=20,5 км, при t=2 с h(t)=28,5 км; при $\tau_0=4$ мин и t=2 с h(t)=21 км, т. е. h(t) существенным образом зависит от электрической проводимости вблизи земной поверхности.

В общем случае, когда в грозовом облаке произошел разряд нижнего заряда на земную поверхность, но в облаке остался заряд Q, так что при t=0 $\Delta \phi = -4\pi Q \delta(r-r_1)$, и продолжается процесс заряжения облака ($I_0 \neq 0$), получим следующее выражение для изменения вертикальной составляющей напряженности электрического поля при z=0 и $\tau=0$:

$$E_{z}|_{z=0} = -2I_{0} \int_{0}^{t} \alpha \tilde{\tau} \int_{0}^{\infty} \frac{\sinh x(h(\tilde{\tau}) - z_{1})}{\sinh xh(\tilde{\tau})} J_{0}(xr)xdx -$$

$$-2Q \int_{0}^{\infty} \frac{\sinh x(h(t) - z_{1})}{\sinh xh(t)} J_{0}(xr)xdx. \tag{29}$$

Для расстояний r > h(t) для второго члена (29) имеет место выражение (25), а для первого члена получим следующую асимптотическую зависимость:

$$E_{z}^{1}\Big|_{z=0} = -2I_{0} \int_{0}^{t} \alpha \tilde{\tau} \int_{0}^{\sinh x(h(\tilde{\tau})-z_{1})} J_{0}(xr)xdx \approx$$

$$\approx -\frac{4\pi I_0 t}{h^2(\bar{t})} \sin \frac{\pi z_1}{h(\bar{t})} \left(\frac{h(\bar{t})}{r}\right)^{1/2} e^{-\frac{\pi r}{h(\bar{t})}}, \tag{30}$$

где \overline{t} удовлетворяет условию $0 < \overline{t} < t$.

Выражение (30) описывает рост напряженности электрического поля за счет накопления электрического заряда в облаке, обусловленного током электризации I_0 на временном интервале $0 < t << \tau_0$, где τ_0 — время электрической релаксации вблизи земной поверхности. В то же время второй член в (29) описывает уменьшение напряженности электрического поля за счет диссипации электрического заряда.

Аналогичный результат можно получить для расстояний r < h(t), используя выражение (26).

 Π ри $\left| p \tau_0 e^{-\alpha z} \right| < 1$ решение (20) при $\Delta \phi |_{t=0} = 0$ записывается в следующем виде: при $z < z_1$

$$\varphi_{1} = \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma-i\infty}^{(\sigma+i\infty)} \frac{2\hat{I}_{1}(p)}{\alpha} \tau_{1} e^{pt} dp \int_{0}^{\infty} \frac{F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_{0} e^{-\alpha z})}{F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_{0})} e^{-\frac{\alpha}{2}z_{1}\left(\sqrt{1+\frac{4x^{2}}{\alpha^{2}}}-1\right)} \times \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma-i\infty}^{(\sigma+i\infty)} \frac{2\hat{I}_{1}(p)}{\alpha} \tau_{1} e^{-pt} dp \int_{0}^{\infty} \frac{F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_{0} e^{-\alpha z})}{F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_{0})} e^{-\frac{\alpha}{2}z_{1}\left(\sqrt{1+\frac{4x^{2}}{\alpha^{2}}}-1\right)} \times \frac{1}{2\pi i} \int_{0}^{(\sigma+i\infty)} \frac{2\hat{I}_{1}(p)}{\alpha} \tau_{1} e^{-pt} dp \int_{0}^{\infty} \frac{F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_{0} e^{-\alpha z})}{F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_{0})} e^{-\frac{\alpha}{2}z_{1}\left(\sqrt{1+\frac{4x^{2}}{\alpha^{2}}}-1\right)} \times \frac{1}{2\pi i} \int_{0}^{(\sigma+i\infty)} \frac{2\hat{I}_{1}(p)}{\alpha} \tau_{1} e^{-pt} dp \int_{0}^{\infty} \frac{F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_{0} e^{-\alpha z})}{F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_{0})} e^{-\frac{\alpha}{2}z_{1}\left(\sqrt{1+\frac{4x^{2}}{\alpha^{2}}}-1\right)} \times \frac{1}{2\pi i} \int_{0}^{(\sigma+i\infty)} \frac{2\hat{I}_{1}(p)}{\alpha} \tau_{1} e^{-pt} dp \int_{0}^{\infty} \frac{F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_{0} e^{-\alpha z})}{F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_{0})} e^{-\frac{\alpha}{2}z_{1}\left(\sqrt{1+\frac{4x^{2}}{\alpha^{2}}}-1\right)} \times \frac{1}{2\pi i} \int_{0}^{(\sigma+i\infty)} \frac{2\hat{I}_{1}(p)}{\alpha} \tau_{1} e^{-pt} dp \int_{0}^{\infty} \frac{F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_{0} e^{-\alpha z})}{F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_{0})} e^{-\frac{\alpha}{2}z_{1}\left(\sqrt{1+\frac{4x^{2}}{\alpha^{2}}}-1\right)} e^{-\frac{\alpha}{2}z_{1}\left(\sqrt{1+\frac{4x^{2$$

$$\times \left[e^{-\alpha\overline{\alpha}_{1}z}F(\overline{\alpha},\overline{\beta},\gamma,-p\tau_{0})F(\overline{\alpha}_{1},\overline{\beta}_{1},\gamma_{1},-p\tau_{0}e^{-\alpha z}\right) -$$

$$-e^{-\alpha\alpha_1z}F\Big(\overline{\alpha},\overline{\beta},\gamma,-p\tau_0e^{-\alpha z}\Big)F\Big(\overline{\alpha}_1,\overline{\beta}_1,\gamma_1,-p\tau_0\Big)\Big]\times$$

where the first section
$$\times \frac{J_0(xr)xdx}{\sqrt{1+rac{4x^2}{lpha^2}}}$$
 , where there is a section of the section

$$\begin{split} & \text{ трм } z > z_1 \\ & \phi_2 = \frac{1}{2\pi i} \int\limits_{\sigma - i\infty}^{\sigma + i\infty} \frac{2\hat{I}_1(p)}{\alpha} \bar{\tau}_0 e^{pt} dp \int\limits_0^{\infty} \frac{F\left(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_0 e^{-\alpha z}\right)}{F\left(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_0\right)} e^{-\frac{\alpha}{2}z} \left(\sqrt{1 + \frac{4x^2}{\alpha^2} + 1}\right) \times \\ & \times \left[e^{-\alpha \widetilde{\alpha}_1 z_1} F\left(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_0\right) F\left(\overline{\alpha}_1, \overline{\beta}_1, \gamma_1, -p\tau_0 e^{-\alpha z_1}\right) - \\ & - e^{-\alpha \alpha_1 z_1} F\left(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p\tau_0 e^{-\alpha z_1}\right) F\left(\overline{\alpha}_1, \overline{\beta}_1, \gamma_1, -p\tau_0\right) \right] \frac{J_0(xr) x dx}{\sqrt{1 + \frac{4x^2}{\alpha^2}}}, \\ & \alpha_1 = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4x^2}{\alpha^2}}}{2}, \quad \overline{\alpha} = \alpha_1 + \frac{x}{\alpha}, \quad \overline{\beta} = \alpha_1 - \frac{x}{\alpha}, \quad \gamma = 1 + \sqrt{1 + \frac{4x^2}{\alpha^2}}, \\ & \widetilde{\alpha}_1 = \frac{1 - \sqrt{1 + \frac{4x^2}{\alpha^2}}}{2}, \quad \overline{\alpha}_1 = \widetilde{\alpha}_1 + \frac{x}{\alpha}, \quad \overline{\beta}_1 = \widetilde{\alpha}_1 - \frac{x}{\alpha}, \quad \gamma = 1 - \sqrt{1 + \frac{4x^2}{\alpha^2}}. \end{split}$$

При $p \to 0$ решение (31) стремится к стационарному решению, даваемому теорией Хольцера—Саксона [7]. С помощью первого решения (31) можно найти напряженность электрического поля вблизи земной поверхности при z=0. Полагая $\hat{I}_1(p) = \frac{I_0}{p(1+p\tau)}$, получаем:

$$E_{z}(0,t) = -2I_{0}\tau_{1}\int_{0}^{\infty}J_{0}(xr)e^{-\frac{\alpha}{2}z_{1}\left(\sqrt{1+\frac{4x^{2}}{\alpha^{2}}}-1\right)}xdx\frac{1}{2\pi i}\int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty}\int_{0}^{t}dp\left[\frac{1}{p}-\frac{1}{p+\frac{1}{\tau}}\frac{\tau_{0}}{\tau_{0}-\tau}\left(\frac{1}{p+\frac{1}{\tau_{0}}}-\frac{1}{p+\frac{1}{\tau}}\right)\right]\frac{F\left(\overline{\alpha},\overline{\beta},\gamma,-p\tau_{0}e^{-\alpha z_{1}}\right)}{F\left(\overline{\alpha},\overline{\beta},\gamma,-p\tau_{0}\right)}.$$
 (32)

При $\alpha z_1 << 1$ из (32) следует

$$E_{z}(0,t) = -I_{0}\tau_{1}e^{-\frac{\alpha}{2}\left(\sqrt{z_{1}^{2}+r^{2}}-z_{1}\right)}\left[1-e^{-\frac{t}{\tau}}-\frac{\tau_{0}}{\tau_{0}-\tau}\left(e^{-\frac{t}{\tau_{0}}}-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)\right]\times$$

$$\times \frac{\alpha z_1}{\left(r^2 + z_1^2\right)} \left[1 + \frac{2}{\alpha \left(r^2 + z_1^2\right)^{1/2}} \right]. \tag{33}$$

При $\alpha z_1>>1$ для $E_z(0,t)$ имеем

$$E_{z}(0,t) = \frac{I_{0}\tau_{1}}{\pi i} \int_{0}^{\infty} J_{0}(xr)e^{-\frac{\alpha}{2}z_{1}\left(\sqrt{1+\frac{4x^{2}}{\alpha^{2}}}-1\right)}xdx \times \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} \frac{F^{-1}\left(\overline{\alpha},\overline{\beta},\gamma,-p\tau_{0}\right)e^{pt}}{p(1+p\tau_{0})(1+p\tau)}.$$
(34)

Для вычисления интегралов в (34) воспользуемся условием, в соответствии с которым при $\alpha z_1 >> 1$ экспонента в (34) играет существенную роль при $x^2/\alpha^2 << 1$. В этом случае для гипергеометрической функции $F(\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \gamma, -p_{10})$ можно использовать представление [3]

$$F(1,1,2,-p\tau_0) = \frac{\ln(1+p\tau_0)}{p\tau_0}.$$
 (35)

При $\tau_0 >> \tau$ вычисления в интегралах (34) с использованием (35) приводят к следующему представлению для $E_z(0,t)$:

$$E_{z}(0,t) = \frac{I_{0}\tau_{1}}{z_{1}^{2} + r^{2}} e^{-\frac{\alpha}{2}\left(\sqrt{z_{1}^{2} + r^{2}} - z_{1}^{2}\right)} \alpha z_{1} \left[1 + \frac{2}{\alpha\left(r^{2} + z_{1}^{2}\right)^{1/2}}\right] v_{1}\left(\frac{t}{\tau_{0}}\right),$$
(36)

$$v_1\left(\frac{t}{\tau_0}\right) = 1 - \int_0^\infty \frac{e^{-\frac{t}{\tau_0}(1+z)}}{z(\pi^2 + \ln^2 z)} dz, \quad \tau_1 = (4\pi\lambda(z_1))^{-1}.$$

Из выражений (33) и (36) следует, что при $\tau_0 >> \tau_1 > \tau$ время установления стационарного электрического поля определяется временем τ_0 . Для небольших расстояний $r << \alpha^{-1}(x/\alpha >> 1)$, используя для $F(\alpha, \beta, \gamma, x)$ асимптотическое выражение при $x/\alpha >> 1$ [3]

-one representation of
$$F\left(\frac{2x}{\alpha},\frac{1}{2},\frac{2x}{\alpha},u\right) = \frac{1}{2}$$
 and $F\left(\frac{2x}{\alpha},\frac{1}{2},\frac{2x}{\alpha},u\right) = \frac{1}{2}$ and $F\left(\frac{2x}{\alpha},\frac{1}{2},\frac{2x}{\alpha},u\right) = \frac{1}{2}$ and $F\left(\frac{2x}{\alpha},\frac{1}{2},\frac{2x}{\alpha},u\right) = \frac{1}{2}$ and $F\left(\frac{2x}{\alpha},\frac{1}{2},\frac{2x}{\alpha},u\right) = \frac{1}{2}$

where a state of the constraints are the states of the constraints of

$$E_{z}(0,t) = -\frac{2I_{0}\tau_{1}z_{1}}{\left(r^{2}+z_{1}^{2}\right)^{3/2}}\frac{1}{\left(\tau_{0}\tau_{1}\right)^{1/2}}\int_{\tau_{0}}^{t} e^{\frac{\tau(z_{1})+\tau_{0}}{2\tau_{0}\tau(z_{1})}t'}\bar{I}_{0}\left[\frac{\tau_{0}-\tau(z_{1})}{2\tau_{0}\tau(z_{1})}t'\right]dt' = \frac{1}{2}\left[\frac{t_{0}-\tau(z_{1})}{2\tau_{0}\tau(z_{1})}t'\right]dt'$$

$$= \frac{2T_0\tau_1z_1}{\left(r^2+z_1^2\right)^{3/2}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \frac{2\tau_0\tau_1}{\left(\tau_0 - \tau_1\right)\sqrt{\pi(\tau_0 - \tau_1)}} + \ldots\right), \quad (38)$$

где $I_0(u)$ — функция Бесселя мнимого аргумента.

При $z>z_1$ и cz/2>1 вычисления вертикальной составляющей напряженности электрического поля приводят к следующему результату:

$$E_{z}(z,t) = \frac{I_{0}\tau\alpha z}{r^{2} + z^{2}} + \frac{1}{z^{2}} \frac{2}{\tau^{2} + z^{2}} \frac{2}{\tau^{2$$

$$\times \left\{ 1 - e^{-\frac{t}{\tau(z)}} - \int_{0}^{t} E_{1}\left(\frac{t - \tau}{\tau_{1}}\right) \left(\int_{0}^{\tau} \frac{1}{\tau(z)} e^{-\frac{\tau - \tau'}{\tau(z)}} \frac{1}{\tau_{0}} v\left(\frac{\tau'}{\tau_{0}}\right) d\tau' \right) d\tau, \quad (39)$$

$$E_1\left(\frac{t}{\tau_1}\right) = \int_0^{\infty} e^{-\frac{t}{\tau_1}u} \frac{du}{u}, \quad v\left(\frac{t}{\tau_0}\right) = 1 + \int_0^{\infty} \frac{e^{-\frac{t}{\tau_0}}(1+x)}{\pi^2 + \ln^2 x} dx.$$

При $t \to \infty$ $E_z(z,t)$ стремится к стационарному значению с характерными временами τ_0 , $\tau(z)$, $\tau(z_1)$.

and the state of the particle of the state of the state of the state of the state of

4. Обсуждение полученных результатов

Таким образом, на основе потенциального приближения получено аналитическое решение задачи, описывающей процесс установления стационарного электрического состояния в атмосфере с экспоненциальной проводимостью при включении электрического тока заряжения, приводящего к генерации электрических зарядов в грозовом облаке. Характерной особенностью полученного решения является наличие двух временных стадий: $t < \tau_0$ и $t > \tau_0$, где τ_0 — время электрической релаксации вблизи земной поверхности. Для времен, малых по сравнению с временем электрической релаксации то, роль электрической проводимости мала. Если к моменту t=0 облако накопило электрический заряд, достаточный для разряда облако-земля и облако—облако и после разряда в облаке остался заряд Q, то полученное решение (25) описывает процесс распада этого заряда. При этом характерное время уменьшения напряженности электрического поля при z=0 убывает с увеличением расстояния от источника, что находится в согласии с экспериментальными данными, приведенными в [9]. Если при этом ток заряжения $I_0 \neq 0$, то, как следует из (29) и (30), при $I \approx 10$ А и $t \approx 10$ с в облаке может возникнуть заряд $Q \approx 100~\mathrm{K}$ л, что опять приведет к разряду в облаке и процесс вновь повторяется. Возникает совокупность разрядно-восстановительных процессов при $I_0 \neq 0$, характерных для грозового облака. При $t > \tau_0$ процесс установления стационарного электрического состояния в атмосфере определяется ее электрической проводимостью и, как показывают приведенные выше расчеты, характерными временами электрической релаксации τ_0 , $\tau(z)$ и $\tau(z_1)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Бейтмен Г., Эрдейи А. Высшие трансцендентные функции. Гипергеометрическая функция. Функция Лежандра. М.: Наука, 1973. 294 с.
- 2. Джексон Дж. Классическая электродинамика. М.: Мир, 1965. 702 с.
- 3. Диткин В. А., Прудников А. П. Интегральные преобразования и операционное исчисление. М.: Наука, 1974. 542 с.
- 4. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Наука, 1971. 1108 с.
- 5. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Наука, 1971. 576 с.
- 6. Browning G. L., Tzur I., Roble R. G. A global time-dependent model of thunderstorms electricity. Part I: Mathematical properties of the physical and numerical models. J. Atm. Sci., 1987, v. 44, N 15, p. 2166—2177.
- 7. Holser R. E., Saxon D. S. Distribution of electrical conduction current in the vicinity of thunderstorms. J. Geophys. Res., 1952, v. 57, N 2, p. 207—216.
- 8. Hager W. W., Nisbet J. S., Kasha J. R., Wei-Chang Shann. Simutations of electric field within a thunderstorms. J. Atm. Sci., 1989, v. 46, N 23, p. 3542—3558.
- 9. Illingworth A. J. Electric field recovering after lightning as the vesponse of the conducting atmosphere to a field change. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1972, v. 98, N 417, p. 604—616.
- 10. Kasemir H. W. Das Gewittergenerator im luftelektrischen stromkreis I // Zeitschrift für Geophysik, 1959, J.25, H.1, s. 33—64.
- 11. Mann J. J. Interaction of thunderstorm with conducting atmosphere // J. Geophys. Res., 1970, v. 75, N 9, p. 1697—1698.
- 12. Michnowski S. Electric field variations in a medium with variable conductivity, produced by a point charge above a conductive plane. Acta geophysica Polonica, 1973, v. 21, N.4, p. 305—329.
- 13. Volland H. Atmospheric Electrodynamics. Berlin, Springer, 1984. 205 p.

essal frequencia de la comita de la comi

THE CONTROL OF THE CONTROL OF A SECRETARY RESIDENCE RESIDENCE RESIDENCE RESIDENCE PROPERTY OF A SECRETARY RESIDENCE OF A

ntervisione en plumente de la complexión de la recordination de la complexión de la complexión de la complexión En elegando la complexión de la complexión La complexión de la c

К ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНОВ ЕСТЕСТВЕННОЙ АТМОСФЕРЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ВОДЯНЫХ КАПЕЛЬ

В свете общего исследования электризации облачных капель атмосферными ионами представляется целесообразным более детально рассмотреть результат столкновения иона с поверхностью водяной капли. Результатом такого столкновения будет возможное проникновение иона через поверхность капли внутрь ее, адсорбция ионов на поверхности капли [4], отражение иона от поверхности капли, обусловленное электростатическим отталкиванием.

Из общего термодинамического принципа известно, что ион, столкнувшись с поверхностью капли, должен остаться на ее поверхности, если это приводит к уменьшению поверхностного натяжения — свободной энергии, и, наоборот, ион углубится внутрь капли, если он увеличивает ее поверхностное натяжение.

Однако не существует теории жидкости вообще, а ее поверхностного натяжения в частности. Остается попытаться составить суждение о судьбе иона, столкнувшегося с каплей, из энергетических соображений, что и будет целью данной статьи.

Проведение энергетических расчетов взаимодействия иона с водной поверхностью капли оказалось возможным после выполнения отдельных исследований, касающихся электростатической структуры однозарядных молекулярных ионов естественного атмосферного воздуха [1] и строения поверхностного слоя чистой воды [2].

Положительный однозарядный ион двухатомных молекул кислорода и азота схематизируется тремя точечными зарядами. Два положительных заряда, равных в «долях» электрона в вероятностном смысле $1.2~e^+$, находятся в центре сфер вокруг атомных ядер радиусом $0.5 \cdot 10^{-8}$ см. Расстояние между атомными ядрами составляет $1.3 \cdot 10^{-8}$ см. Отрицательный заряд расположен на середине отрезка, соединяющего атомные ядра, и равен $1.4~e^-$. Для отрицательного иона молекулы кислорода располо-

жение зарядов аналогично, но их величины равны $0.5\ e^+$ и $2\ e^-$ соответственно.

Молекулы-диполи поверхностного слоя чистой воды, расположенные вертикально по отношению к плоскости водной поверхности, ориентированы по отношению к внешней нормали водной поверхности. 51,6 % молекул воды направлены против внешней нормали — водородной частью молекулы внутрь, и 48,4 % молекул воды направлены по внешней нормали — водородной частью наружу [2]. Такая ориентация поверхностных молекул-диполей воды приводит к скачку потенциала на водной поверхности, достигающему ~0,2 В, что согласуется с [4, 5]. Подчеркнем, что такое значение скачка потенциала получено в предположении, что каждая молекула воды независимо от расположения всех остальных молекул может принимать только два указанных вертикальных положения: по нормали с вероятностью 0,484 и против нормали с вероятностью 0,516. Ясно, что молекулы одного направления не могут группироваться на значительной площади поверхности воды. Вместе с тем для очень строгой равномерности расположения молекул по направлениям на достаточно малом участке поверхности воды также нет каких-либо оснований. 1993 TH

Заметим, что сам факт только перпендикулярно расположенных молекул в поверхностном слое воды сколь-нибудь строго никем не доказан. В [2] приводятся лишь некоторые соображения и факты разных авторов в пользу поверхностной ориентации молекул-диполей воды.

Энергия взаимодействия молекулярных ионов с поверхностными молекулами воды

Рассчитаем энергию взаимодействия молекулярного иона, оказавшегося на водной поверхности. Рассмотрим два крайних расположения иона: прямая, соединяющая атомные ядра, параллельна и перпендикулярна водной поверхности. Напряженность электрического поля иона складывается из полей от трех указанных выше точечных зарядов. Линейный размер молекулы воды $h=3\cdot 10^{-8}$ см, $a=0.5\cdot 10^{-8}$ см. Точка A находится непосредствен-

но под отрицательным зарядом иона, в точке B находится нормальная составляющая электрического поля иона $E_n(r)$ (r — расстояние до точки B):

$$E_n(r) = \frac{q}{r^3} \left(a + \frac{h}{2} \right). \tag{1}$$

Оценим число молекул, находящихся на окружности радиусом AB. Радиус молекулы воды по водородной связи составляет $1.47 \cdot 10^{-8}$ см. Площадь, занимаемая непосредственно самой молекулой воды, в совокупности с окружающей ее площадью между молекулами, будет равна $11.64 \cdot 10^{-16}$ см², что соответствует эффективному радиусу молекулы, равному $1.925 \cdot 10^{-8}$ см. Число молекул воды на единице площади поверхности составляет $8.59 \cdot 10^{14}$ см². Принимая во внимание значения указанных радиусов молекулы, с вероятностью 0.58 ион, попавший на поверхность капли, окажется над молекулой воды и с вероятностью 0.42 — над областью между молекулами воды.

Пусть ион окажется над молекулой воды. Тогда ближайшие к ней восемь молекул будут находиться на расстоянии $3.85 \cdot 10^{-8}$ см, далее 16 молекул — на расстоянии $7.7 \cdot 10^{-8}$ см и 24 молекулы — на расстоянии $11.55 \cdot 10^{-8}$ см. Если же под ионом молекулы воды не оказалось, то четыре молекулы находятся на расстоянии $1.925 \cdot 10^{-8}$ см, а далее 12 молекул — на расстоянии $5.775 \cdot 10^{-8}$ см, 20 молекул — на расстоянии $9.625 \cdot 10^{-8}$ см.

Поскольку каждая молекула может иметь совершенно независимо два противоположных направления, то найдем для каждого слоя вероятность P(m) того, что из n молекул слоя m направлены с вероятностью 0.484 по направлению внешней нормали:

$$P(m) = C_n^m (0.484)^m (0.516)^{n-m}.$$
 (2)

Значения нормальной составляющей напряженности электрического поля от адсорбированных положительного и отрицательного ионов на плоскости поверхности воды в зависимости от расстояния от центра иона приведены в табл. 1. Зная нормаль-

Tabnuya 1		. 8 3 0: 1 (1)	11,55	$1,30 \cdot 10^{-3}$	1,54.10-3	1,21.10-3	1,62.10-3	33.2 2. 44. \$0.00	20 5 4 - \$1450 - 1910 1		#\$1.0 (1.4) (1.5)	(\$ 5 \\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\	j. A
ВГОІ	на плоскости поверхности воды в зависимости от расстояния от «центра» пона		9,625	2,23 : 10-3	$2,56 \cdot 10^{-3}$	$2,05 \cdot 10^{-3}$	2,71 · 10-8	20		нус.		amina Elektriki	
Значения* нормальной составляющей электрического поля	толительного стородого ст	она, 10 ⁻⁸ см	7,7	4,33 . 10-3	4,64.10-3	3,83.10-3	5,02.10-3	2000 - 10		на — знак минус		2 v (v () - 1 <u>()</u> ()	
пощей элект	OCTH OT DAC	Расстояние от «центра» иона, 10-8 см	5,775	0,010	9,56 10-3	8,24 10-3	0,0106		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	ция отрицательного иона			LOW LOW Cor Stror Low
oğ cocrania	I B BARNCHM	Расстояние с	3,85	0,0304	0,0234	0,0220	0,0270	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	10 744 10 09 11 07 12 08	0 ⁶ , для отриі	n gari 22 na 180 1826 Teulo	user id renu s r on , en onen	ondi 1944 1946 (rese
г* нормальн	рования жности води		1,925	0,116	0,0776	0,0816	0,0745		€35 (2) 186 277 1 (3)20 2 (4£7	жать на 4,8	KIP : KIP :: S PA :: S T N.S	undung Life ng Propensi	Casta Mala Auto Auto
Значения	сти повер	r, /100 ≰	0	0,165	0,210	0,285	0,114	် (<i>နေ့<u>ထ</u>ို</i> (ရှိကြလည်)	Single Comment	следует умноэ	8000000000000000000000000000000000000	entisteedi.	gi ja
	S S An IIIOC			Положительный ион, горизонт.	Положительный ион, вертик.	Отрицательный	Отрицательный	ион, вертик. Число молекул в	слое	* Все значения следует умножать		ouests	

Энергия взаимодействия электрического поля молекулярных ионов $(U_F \cdot 10^{12} \text{ эрг})$ в зависимости от расстояния от иона и направления молекулы: вниз (\downarrow) и вверх (\uparrow).

Направление молекулы	<u>:</u>		Рассто	яние, А		
↓	-2,36	-1,47	-0,299	-0,0916	-0,0389	-0,0198
	2,52	0,720	0,194	0,0728	0,0338	ارم اها ا
1	1,457	1,024	0,268	0,0883	0,0382	0,0197
İ	-5,23	-0,942	-0,210	-0,0751	-0,0343	ž Š
Примеча	ния: 1. И	Іоны распол	10жены гор	изонтально	. — 2. Bepz	няя цифр

ную составляющую электрического поля иона, определяем взаимодействие этого поля с молекулами обоих направлений. В табл. 2 приведены значения энергии взаимодействия электрического поля молекулярных ионов с молекулами воды в зависимости от расстояния от иона до молекулы и ее направления. Ионы расположены горизонтально. Рассчитано суммарное взаимодействие иона со всеми слоями молекул воды на указанных выше расстояниях. В качестве примера результаты расчета для слоев из четырех и восьми молекул представлены в табл. 3. При этом было принято во внимание, что при совпадении направлений напряженности поля с направлением молекулы-диполя индуцируется дополнительный дипольный момент. Дипольный момент молекулы воды принимался равным 1.84 · 10⁻¹⁸ СГСЕ.

Таблица 3 Энергия взаимодействия иона ($U \cdot 10^{12}$ эрг) со слоями молекул с учетом комбинаций направлений молекул вверх (\uparrow) и вниз (\downarrow).

Комбинация	Вероятность комбинации	$U\cdot 10^{12}$ əpr
	Слой из четырех молекул	
4↑	0,0549	4,096 -3,767
41	0.0700	_5,88
4 ↓	0,0709	2,88

Продолжение таблицы 3

Комбинация	Вероятность комбинации	$U\cdot 10^{12}$ apr
geleste dit in	Слой из четырех молек	yan ara jegos Koban
3 ↑ ⊭ 1 ↓	0,234	1,603
3 ↓ № 1 ↑	0,266	-3,385 1,22
2 ↓ n 2 ↑	0,374	-0,891 -20 -0,444 -27
AND CORRESPOND	Слой из восьми молеку	in a second seco
		2,15 -1,68
	0,00472	-2,393 - 1,55
7 n 1	0,0255	# from 1994 1,58 Feb. 16 1
v. 70 1.04 2.67€ 0	0,0357	. The strong1,82 tente Silverson
6 ↑ и 2 ↓ Эт общения объясы	0,0944 0 - (1,013
	0,118 The 18	0,745
- 1	10 0.200 5 6600 1 1460 000000 pc 40	0,4451
5 ↓и 3 ↑	15	-0,690 0,340
(15 Medi 4 ↑ n 4 ↓ 0 (0 (m. 250 km a 12 boot) (0,264	-0,123 -0,0648
	Верхняя цифра относится к ому. — 2. Расстояния до сло	

Последствия столкновения молекулярных ионов с поверхностью капли

Установим последствия столкновения молекулярных ионов с поверхностью водяной капли исходя из энергетических соображений. Прежде всего нужно подчеркнуть, что ион сталкивается с незаряженной каплей чистой воды. Другими словами, отсутствует электрическое поле капли, встречающее направлявшийся к капле ион. Кроме того, имеется в виду поверхность капли чистой воды, для которой справедливо используемое выше строение поверхностного слоя воды. В облаках это должна быть капля, образовавшаяся на нерастворимом ядре конденсации, либо капля с очень малой концентрацией солей в ее поверхностном слое, заметно не нарушающем структуру поверхностного слоя воды.

Начнем с положительного иона. Тепловая (кинетическая) энергия иона $\epsilon_{\rm T}=5/2kT$ при T=273 K составляет $\epsilon_{\rm T}=0.942\times \times 10^{-13}$ эрг. Для преодоления двойного электрического слоя на поверхности капли со скачком потенциала 0,2 В требуется энергия, равная $3.2\cdot 10^{-13}$ эрг. Следовательно, $\epsilon_{\rm T}$ составляет меньше 30 % энергии, требуемой для преодоления скачка потенциала. Таким образом, остается считать, что ион адсорбируется, останется на поверхности капли, если его энергия связи с поверхностными молекулами капли отрицательна. В случае же положительной энергии взаимодействия ион должен отразиться от капли.

Оценим вероятность обоих случаев. Рассчитаем сперва случай попадания иона на каплю, когда молекула воды оказалась под центром иона. В этом случае вероятность того, что энергия иона отрицательна, будет представлять собой произведение статистически независимых вероятностей: 0.58 — ион оказался над молекулой, 0,516 — молекула направлена вниз, возможны любые комбинации расположения молекул в слоях из 8 и 16 молекул. Это произведение дает вероятность 0,299. К этой вероятности добавляется очень незначительная вероятность из комбинации: молекула направлена вверх и две комбинации из слоев 8 и 16 молекул — вероятность 0,0117. Если ион попадает над площадью поверхности между молекулами (вероятность 0,42), то из этой вероятности и возможных комбинаций из 4 и 12 молекул получаем дополнительную вероятность 0,299. В итоге получается, что вероятность положительного двухатомного однозарядного иона адсорбироваться (остаться на поверхности водяной капли) будет равна 0,61. С вероятностью 0,39 положительный ион отразится от поверхности капли при столкновении с ней.

Критерий поведения отрицательного иона, столкнувшегося с каплей, будет определяться соотношениями между энергиями: кинетической 5/2 kT, энергией связи иона с поверхностными молекулами воды $E_{\rm cr}$ и энергией, приобретаемой при прохождении ионом скачка потенциала на поверхности $E_{\rm пот}$. Условием отражения иона от поверхности капли будет превышение энергии связи, т. е. преобладание отталкивания: $E_{\rm cr} > E_k + E_{\rm пот}$. Ион останется на поверхности капли, если будет преобладать отрицательная энергия связи. По абсолютной величине $E_{\rm cr}$ опять-таки должна быть больше $E_k + E_{\text{пот}}$. Наконец, ион проникнет внутрь капли, если положительная энергия отталкивания и отрицательная энергия связи не скомпенсируют сумму $E_k + E_{\rm пот}$. Принимая, как и для положительного иона, рассчитанные значения энергий для всех слоев молекул, окружающих ион, часть из которых приведена в табл. 3, окончательно находим соответствующие вероятности. Вероятность отражения отрицательного однозарядного иона двухатомной молекулы \mathbf{O}_2^- от поверхности капли составляет 0,45, вероятность адсорбироваться — 0,48 и вероятность преодолеть скачок потенциала на поверхности и оказаться внутри капли — 0.07.

В заключение необходимо подчеркнуть следующее. При расчетах предполагалось, что ион, взаимодействуя с поверхностными молекулами воды, никак не искажает их структуру. Энергия поверхностного натяжения даже для капли радиусом 3 мкм составляет $8.65 \cdot 10^{-5}$ эрг, что на много порядков превышает энергию взаимодействия иона с поверхностными молекулами воды (см. табл. 2).

Кинетика заряжения облачных капель искусственно образованными отрицательными ионами [3] потребует особого рассмотрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Клинго В. В. Ионы естественной атмосферы как электростатические системы. В сб.: Труды Второй международной конференции «Естественные и антропогенные аэрозоли». СПб, 2000, с. 232—238.
- Klingo V. V. Atomic and molecular ions of natural atmosphere as electrostatic systems. — Proc. 15th ICNAA. — Rolla, Missouri, USA, 2000.

(Klingo V. V. Water molecules orientation is surface layer. — Proc. 15th ICNAA. — Rolla, Missouri, USA, 2000).

3. Клинго В. В., Козлов В. Н., Щукин Г. Г. Физические основы образования заряженных гигроскопических частиц для искусственного регулирования осадков. — Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2002, вып. 4(552), с. 76—86.

4. Френкель Я. И. Теория явлений атмосферного электричества. — Л.; М., $1949.-155\,\mathrm{c}.$

ৰ্কী যোগ যোগে যে যে বনুধানে চাৰাল কৰা কৰা কৰা কৰা আৰু বাৰ পৰে প্ৰেৰ্জান কৰা পৰিকৃষ্টিন লোগ আন সেপজন যে পৰাকুছিল পৰা চৰকীয়াই নগৰাই জনজানিকৈ বাৰ বিশ্ব বিশ্ব বিশ্ব জিলাই আৰু ইন্টাই জিন্তু ইন্সাৰল ক্ষ্মিক ইন্যান কজ

engo menggarakan Sijakan dalam kendan kendan berailah bandan di Milatan di Milatan Sijah Sijah Sijah Sijah Sij Penggan dalam penggan penggan beranggan di dalam Sijah Sijah Sijah Sijah dalam kenggan berailah sebigai berang

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГУЛЯРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ РАДИАЦИИ НА СЕТИ СТАНЦИЙ РОССИИ

ra rando y seggendos, an anda randos seguis seguis de començão, entra como como como como como como de como co

В 2003 г. впервые в России в системе Росгидромета было положено начало созданию постоянно действующей сети станций для измерения ультрафиолетовой радиации. В качестве прибора для этого был принят ультрафиолетметр, разработанный в ГГО на базе озонометра М-124 [1, 7] с корригирующей насадкой — шаром Лярше, которая обеспечивает прием суммарной УФ радиации от верхней полусферы с соблюдением косинусной характеристики [6]. До этого в СССР и России для измерения УФ радиации в опытном порядке под методическим руководством ГГО действовали станции Воейково, Печора, Киев и Карадаг (Крым).

Как известно [12], ультрафиолетовое излучение располагается в области длин волн 100-400 нм и условно делится на три подобласти: УФ-А от 315-400 нм, УФ-В от 280-315 нм и УФ-С от 100—280 нм. Излучение УФ-С не доходит до земной поверхности из-за поглощения в атмосфере (в основном озоном и молекулярным кислородом). Из УФ-А и УФ-В наиболее сильное воздействие на человека оказывает УФ-В излучение. В ряде случаев УФ-В излучение называют эритемным излучением, поскольку оно вызывает эритему - покраснение кожных покровов человека, переходящее затем в коричневый загар. Поэтому на мировой сети ультрафиолетового мониторинга, включая РФ, измеряется эритемная УФ-эВ радиация. Следует добавить, что, помимо эритемной УФ-эВ радиации, на некоторых станциях определялась также энергетическая УФ-В радиация, которая измеряется, как и в актинометрии, приборами с черной приемной поверхностью или приведенной к ней путем расчета. Эритемная УФ-эВ радиация измеряется приборами, относительная спектральная чувствительность которых соответствует спектральной чувствительности белой кожи человека [12].

Оригинальный метод измерения УФ-В и УФ-эВ радиации для широкополосных приборов со стеклянными светофильтрами был впервые разработан в СССР Г. П. Гущиным и рекомендован для

применения на сети станций решением ГУГМС от 17 марта 1977 г. [9], а в усовершенствованном виде, без изменения основных положений, был опубликован в 1999 г. в работе [6], а также в [11].

Оценка погрешности измерения эритемной УФ-эВ радиации по ультрафиолетметру составила 12 % [7, 8] с учетом того, что погрешность шара Лярше равна 6 % [12]. Эта оценка погрешности измерения эритемной УФ-эВ радиации укладывается для существующих приборов в диапазон возможных погрешностей 5—20 %, приведенный для этой радиации в Руководстве ВМО № 8 [10].

Было решено, что по соображениям экономии сеть станций по измерению УФ радиации будет совмещена с действующей озонометрической сетью, а калибровка ультрафиолетметров и обучение сотрудников станций будет производиться в Воейково (НИЦ ДЗА, филиал ГГО).

В настоящее время сеть станций по измерению УФ радиации — сеть ультрафиолетового мониторинга РФ — находится в стадии организации. Все станции этой сети будут снабжены одинаковыми приборами — ультрафиолетметрами — и будут работать по одинаковым программам. Всего на территории РФ предусматривается открытие 17 станций, измеряющих УФ радиацию. Уже начато измерение УФ радиации на 13 станциях. Основные цели проведения ультрафиолетового мониторинга заключаются в изучении УФ климата на территории РФ и удовлетворении потребностей здравоохранения в регулярных данных об УФ-зВ радиации для предотвращения вредной для здоровья людей передозировки этой радиации в санаториях, фотариях и др. [3].

В 2001 г. были произведены официальные сравнения показаний ультрафиолетметра, разработанного в СССР и РФ, и спектрофотометра, разработанного в Канаде [8]. При этом расхождения показаний этих приборов в период сравнений не превысили их погрешностей, т. е. 15 %, а при внесении поправки за счет интеркалибровки не превысили 6 %. В [8] также приводятся сравнительные характеристики и стоимость приборов, участвовавших в сравнениях, причем стоимость канадского прибора превышает стоимость ультрафиолетметра на два порядка.

Некоторые данные по ультрафиолетовой радиации, полученные на станциях УФ мониторинга на территории РФ по усовершенствованной методике, опубликованы в работах [6—8].

Ниже в качестве примера приводятся данные измерений УФ-В радиации, полученные на станциях ультрафиолетового мониторинга Воейково и Якутск (табл. 1 и 2). Из-за ограниченности объема настоящей работы эти данные публикуются выборочно за некоторые годы и только для зимних и летних месяцев. Из таблиц следует, что разброс значений УФ-эВ радиации для приведенного примера составляет в течение года для Воейково 0,3—175,4 мВт м⁻², для Якутска 2,2—104,1 мВт м⁻². То, что разброс значений УФ-эВ радиации в Якутске меньше, чем в Воейково, объясняется в основном меньшим интервалом использованных значений высоты солнца для Якутска. Из таблиц видно, что наиболее сильной является зависимость УФ-эВ радиации от высоты солнца. Влияние облачности на УФ-эВ радиацию не однозначно, поскольку не учитывается ее мощность по вертикали.

Таблица 1 Энергетическая УФ-В и эритемная УФ-эВ радиация (мВт-м⁻²) в Воейково за 2000 г.

N₂	Чис-	Врем	я мск	Высота		1	Суммар-	Облач-
п/п		, u	мин	солнца, град.	УФ-В	УФ-эВ	ный озон, Д. ед.	ность, баллы
6	:	¥ 73.	ļ. š.,		[нварь		3.	ot Mett
1	1	11	32	5,1	8,8	0,9	326	10
2	2	12	9	6,4	16	1,7	299	1 3 C
3	2	13	1 3	7,1	18,3	1,9	299	3
4	2	14	7	6	13,8	1,4	299	3 ⁶⁸
5	2	14	26	5,3	10,9	1,1	299	8
6*	3	12	53	7,2	13,9	1,4	325	10
7*	3	14	16	5,8	12,1	1,3	325	10
8*	4	12	10	6,6	9,6	1,0	299	10
9*	4	13	6	7,3	8,9	0,9	299	10
10*	4	14	6	6,2	6,5	0,7	299	10

эвет у 180 жиликалы да конститициканым — **Продолжение табл. 1**

№	Чис-	Врем	я мск	Высота		1.5 4.7 1 1 1 1 1 4 4 5	Суммар-	Облач-
, п/п	ло	9 4 .81	мин	солнца, град.	УФ-В	УФ-эВ	ный озон, Д. ед.	ность, баллы
11*	5	11	49	6,1	9,4	1,0	337	10
12*	5	12	10	6,7	7,3	0,8	337	10
13*	5	12	52	7,4	8,9	0,9	337	10
14*	5	14	5	6,4	8,1	0,8	337	10
15*	6	. 11	:747	· 6,1	8,3	0,9	327	10
16*	-6 ੰ	12	16	(- 1 7 - 1)	9,2	0,9	327	10
17*	6	13	12	7,5	≝ 12,8 ≘	1,4	327	∍: 10 %
18*	8	11	46	6,4	6,6	0,7	337	10
19*	8	12	8	7,1	7,5	0,8	337	10
20*	8	13	3	7,9	7,4	0,8	337	10
21*	8	14	0	7,1	4,4	0,5	337	10
22*	8	14	33	5,9	4,4	0,5	337	10
23*	9	11	20	5,2	5,3	0,5	295	10
24*	9.	11	53	6,6	5,3	. 0,6/	295	, 10
25*	9	. 11	55	6,7	10,7	1,1	295	10
26*	9	14	34	5,8	4,5	0,5	295	10
27*	. 9	14	47	. 5,2	3,8	0,4	295	10
28*	10	11 ¹	52	6,7	6,1	0,6	311	10
29*	10	13	3	8 ₹	,	1,9	311	10
30	10	14	38	5,8	7,5	0,8	311	10
31	10	14	53	5,1	6,8	0,7	311	10
32	11	11	17	5,3	3,7	0,4	294	10
33	11	11	59	7,1	9,8	1,0	294	10
34	11	13	2	8,2	8,2	0,9	294	10
35	12	11	16	5,4	2,9	0,3	312	10
36	12	11	50	6,9	4,5	0,5	312	10
37	12	.13	2	8,3	6,0	0,6	312	10
38	12	14	4	7,4	6,7	0,7	312	10
39	14	11	16	5,6	9,2	1,0	310	, 9 (

Продолжение табл. 1

No.	Чис-	Врем	я мск	Высота	7.3	4 33 - 1 15	Суммар-	Облач-
п/п	ло	ч	мин	солнца,	УФ-В	УФ-эВ	ный озон,	ность,
40	14	11	31	град. 6,4	14,5	1,5	Д. ед. 310	баллы 4
41	14	13	7	8,7	22,2	2,3	310	3 -
42	14	14	21	7,2	13,4	1,4	310	10
43	14	14	51	5,9	10,0	1,0	310	10
44*	15	11	20	6	8,1	0,8	374	10
45*	15	12	1	4,9	10,2	1,0	374	10
46*	15	13	11	8,8	12,8	1,3	374	10 10
47*	15	14	28	7,1	5,9	0,6	374	10
48*	15	15	0	5,6	4,3	0,4	374	10
49*	16	11	48	7,5	6,8	0,4	272	10
50*	17	11	57	8	10,0	1,1	366	10
51*	18	11	0	5,4	8,1	0,8	365	10 10
52*	20	10	51	5,1	11,2	1,1	321	0.0
53*	20	11	36	7,7	22,2	2,3	321	es o 30
54*	20	13	1	9,8	34,5	3,7	321	5
55*	20	14	46	7,4	22,2	2,3	321	30 5 €3
56*	20	15	26	5	9,9	1,0	321	5
57*	21	10	54	5,5	9,5	1,0	324	4
58*	21	11	31	7,6	16,2	1,7	324	4
59*	21	13	7	10	24,3	2,6	324	5
60*	21	14	59	6,9	13,0	1,3	324	10
61*	: 21	15	13	6,1	10,1	1,0	324	10
62*	22	10	43	5	10,5	1,1	366	10
63*	22	11	17	7,1	17,4	1,8	366	10
64*	22	11	38	8,2	20,1	2,1	366	10
65*	22	13	2	10,2	31,9	3,4	366	3
66*	22	14	59	7,1	21,5	2,2	366	4
67*	22	15	22	5,7	13,6	1,4	366	5
68*	22	15	33	5	10,9	1,1	366	5

Продолжение табл. 1

N₂	Чис-	Врем	я мск	Высота			Суммар-	Облач-
п/п	ло	ų	MITTER	солнца,	УФ-В	УФ-эВ	ный озон,	ность,
		4	мин	град.	<u> </u>		Д. ед.	баллы
69*	. 23	10	56	6	12,5	1,3	336	2
70*	23	11	41	8,5	20,7	2,2	336	4
71*	23	12	15	9,7	26,0	2,8	336	5
72*	23	13	11	10,5	31,4	3,4	336	1
73*	23	14	43	8,2	21,0	2,2	336	1
74*	23	15	11	6,7	0 15,4 ₹	1,6	336	ë. 2 ≒≒
75*	23	15	35 .	5,1	10,8	1,1	336	2
76*	24	10	48	5,1	12,8	1,3	324	5
77*	24	11	11	7,2	15,8	1,6	324	5
78*	24	13	11	10,7	32,9	3,5	324	4.1 5 3 3
79*	24	15	25	6	13,6	1,4	324	3
80*	25	10	47	5,8	13,4	1,4	296	3. 5 -10
81*	25	11	16	7,7	20,7	2,2	296	3
82*	25	12	7	9,9	35,5	3,8	296	3
83*	25	13	41	10,7	40,3	4,3	296	3 3 %
84*	25	14	52	8,2	23,8	2,5	296	3
85*	25	15	29	. 6	13,5	1,4	296	3
86*	25	15	46	4,8	10,1	1,0	296	20 0 440
87*	26	10	36	5,3	9,7	, 1,2	283	10
88*	26	11	7	7,4	13,6	1,6	283	10
89*	26	11	37	9	24,5	3,0	283	. 10°°
90*	26	13	2	11,2	32,9	4,0	283	10
91*	27	11	13	8	15,2	1,6	323	:310
92*	27	1100	40	9,4	26,6	2,8	323	€10 ∵
93*	27	13	7	11,4	38,6	4,1	323	10
94*	27	14	49	8,9	25,6	2,7	323	10
95*	27	15	25	6,8	14,8	1,5	323	10
96*	27	15	45	5,4	8,7	0,9	323	10
97*	28	15	38	6,1	12,2	1,3	306	≲ 10 ≗

№ п/п	Чис- ло	Врем	мин ж	Высота солнца, град.	УФ-В	УФ-эВ	Суммар- ный озон, Д. ед.	Облач- ность, баллы
98*	28	15°	56	4,8	8,4	0,9	306	10
99* ^ċ	29	10	15	4,3	8,5	0,9	281	10
100*	29	10	31	5,6	12,8	1,6	281	10
101*	29	11	27	9,2	32,1	3,9	281	3
102*	29	13	15	12	56,1	6,7	281	8
103*	29	14	47	9,5	39,1	4,8	281	10
104*	29	15	34	6,7	19,7	2,4	281	10
105*	29	15	54	5,2	10,4	1,2	281	10
106*	30	11	38	10	9,4	1,0	321	10
107*	30	12	59	12,2	26,3	2,8	321	10
108*	30	15	9	8,6	7,8	0,8	321	10
109*	30	15	37	6,8	29,3	3	321	10
110*	30.	15	55	5,4	6,8	0,7	321	10
111*	31	10	31	6,1	13,8	1,4	346	. 5
112*	31	10	55	7,8	19,0	2,0	346	6
113*	31	11	27	9,7	27,0	2,9	346	5
114*	31	12	49	12,4	44,4	4,7	346	5
115*	31	14	56	9,6	25,4	2,7	346	4
116*	31	15	38	7	13,2	1,4	346	0
117*	31	16	6	4,8	7,6	0,8	346	, o
		pin.			Июль	1.85 ≯ 5.85 ≯		9 Läi
118	1	<i>8</i> ९३	2 3	27,4	286,6	27,3	339	0
119	1	8	38	31,9	438,8	42,5	339	3 0
120	1	9	44	39,8	765,5	78,1	339	0 0 S
121	1	12	56	53,1	1112,0	118,6	339	10
122	1	14	50	48,4	669,6	70,9	339	10
123	1	15	27	45,2	663,1	68,9	339	10
124	1	16	4	41,3	859,8	87,7	339	10

Продолжение табл. 1

Nυ	Чис-	Врем	я мск	Высота			Суммар-	Облач-
п/п	ло	q	мин	солнца,	уф-В	УФ-эВ	ный озон, Д. ед.	ность, баллы
125	2	8	15	град. 29	332,6	31,8	351	7
126	2	8	45	32,7	379,7	36,8	351	8
127	2	9	47	40,1	748,5	76,4	351	8
128	2	13	11	53	1011	107,8	351	9
129	2	ិ៍: 14	48	48,6	629,4	66	351	10
130	3	12	40	52,8	960,9	102,5	371	10
131	4	8.	20	29,4	110,9	10,6	333	10
132	4	8	48	32,9	330,2	32	333	10
133	4	10	2	41,5	430,3	44,3	333	10
134	4	12	59	52,9	857,6	91,5	333	10
135	4	14	37	49,3	786,3	82,4	333	10
136	4	15	20	45,7	1264	132,6	333	6
137	4	16	11	40,4	870,3	88,8	333	7
138	5	8	6	27,6	278,5	26,6	319	2
139	5	8	41	31,9	438,3	42,4	319	2
140	5	9	56	40,8	867	88,4	319	4
141	5	12	59	52,8	1345,2	143,5	319	10
142	5	14	41	48,9	565,1	59,2	319	10
143	5	15	29	44,7	432,3	44,9	319	10
144	5	15	50	42,6	339,4	35	319	10
145	6	8	13	28,3	63,1	6	325	10
146	6	8	43	32,1	54,1	5,2	325	10
147	6	13	9	52,7	1091,8	116,5	325	6
148	6	14	27	49,8	1415,7	149,7	325	3
149	6	15	32	.44,4	1123	116,7	325	5
150	6	16	2	41,3	618,7	63,1	325	6
151	7	8	21	29,2	311,9	29,8	320	1
152	7	8	47	32,5	452,2	43,8	320	2
153	7	9	49	39,8	760,3	77,6	320	2

Продолжение табл. 1

		TT	Врем	я мск	Высота	20.494	# j :::::	Суммар-	Облач-
1	.No •• /••	Чис- ло	tiviii	2.00	солнца,	УФ-В-	∵УФ-эВ	ный озон,	ность,
	п/п	ло	. प्	мин	град.		ig a la Marinania Sana sana manana sana	Д. ед.	баллы
	154	7	13	15	52,5	695,2°	74,2	320	8
	155	7	14	√ 55 - €	47,6	474,6	50,2	320	5
	156	7	15	42	43,3	276,6	28,5	320	9
	157	7	ੰ16	2	41,2	344,7	35,2	320	9
	158	8	8	3	26,9	294,8	28,1	342	10
	159	8	8	39	31,4	408,3	39,1	342	10
	160	8	9	43	39	646,3	65,3	342	10
1	161	8	14	48	48,1	959,9	101,6	342	10
l	162	8	15	33	44,1	1031,1	107,2	342	7
	163	8	16	1	41,2	848,8	86,6	342	5
	164	9	8	17	28,5	309,1	29,5	320	1
	165	9	8	41	31,5	408,3	39,5	320	1
	166	9	9	40	38,5	620,3	62,7	320	7
	167	9	12	27	51,8	836,8	89,3	320	10
	168	9	14	53	47,6	998,5	105,7	320	7
	169	9	15	35	43,8	900	93,6	320	8
	170	9	16	6	40,6	521,6	53,2	320	5
	171	10	8	57	33,3	434,6	42,1	362	10
	172	10	9	45	39	240,5	24,3	362	10
	173	10	13	34	51,8	851,3	90,8	362	800
	174	10	15	3	46,7	703,9	73,8	362	5
:	175	10	15	46	42,6	333,8	34,4	362	695
	176	10	16	12	39,8	278,7	28,4	362	6
	177	11	8	14	27,9	257,1	24,5	332	5
	178	11	8	54	32,8	461,3	44,7	332	6
	179	11	9	51	39,5	719,3	73,4	332	4
	180	11	13	15	52	1411	150,5	332	3°C
	181	11	14	36	48,7	1254,7	131,5	332	2
	182	11	15	35	43,6	981,3	102,0	332	1 1

elisosamunun en E

Продолжение табл. 1

No	Чис-	Врем	я мск	Высота	17.0	48 (ays.	Суммар-	Облач-
n/n	ло	ч	мин	солнца,	УФ-В	УФ-эВ	ный озон,	ность,
10/2/11/2	4) 10 407 20			град.	1 1/4	50%	Д. ед.	баллы
183	11	16	8	40,2	803,3	82,0	332	1.
184	12	-8	22	28,7	305,4	29,2	323	10
185	12	8	59	33,3	457,8	1	323	10
186	12	10	11,	41,6	600,5	61,9	323	10
187	12	13	25	51,7	1644,3	175,4	323	10
188	12	14	51	47,4	1164,1	122,1	323	3
189	12	15	31	43,9	907,9	94,4	323	10
190	12	15	56	41,4	847,6	86,5	323	10
191	13	9	42	38,2	537,8	54,3	347	10
192	13	13	8	51,8	856,8	91,4	347	5
193	13	14	38	48,3	1101,6	116,6	347	4
194	13	15	41	42,8	513	52,8	347	5
195	13	16	13	39,4	360,3	36,4	347	8
196	14	8	12	27,2	269,8	25,7	326	ნე
197	14	8	50	31,9	410,7	39,7	326	3
198	14	₅ 9	54	39,4	712,3	72,0	326	5
199	14	13	20	51,5	672,1	71,7	326	10
200	14	15	5	46	659,5	69,2	326	10
201	14	15	40	42,8	619,7	63,8	326	10
202	16	8	22	28,2	135,6	12,9	333	10
203	16	- 8	51 5,	31,7	60,4	5,8	333	10
204	16	13	29	51,1	723,7	77,2	333	10
205	16	14	47	47,2	529,9	55,6	333	10
206	16	15	34	43,1	392,7	40,4	333	10
207	16	16	9	39,5	517,1	52,8	333	10
208	17	.8	11	26,6	243,0	23,2	329	8
209	17	8	46	31	354,3	33,9	329	853
210	17	9	51,	38,6	431,6	43,6	329	9
211	17	12	42	51	670,4	71,5	329	8

Продолжение табл. 1

N₂	Чис-	Врем:	н мск	Высота	PT- 1		Суммар-	Облач-
п/п	ло	ч	мин	солнца,	УФ-В	УФ-эВ	ный озон,	ность, баллы
212	17	15	40	град. 42,4	570,5	58,8	Д. ед. 329	9
213	17	16	32	36,7	130,9	13,1	329	10
214	18	8	9	26,2	194,0	18,3	313	8
215	18	9	0	32,5	376,6	36,5	313	8
216	18	9	59	29,4	641,4	61,3	313	6
217	18	13	29	50,7	1428,6	152,5	313	6
218	18	15	3	45,6	647,6	67,9	313	7
219	18	15	46	41,6	402,1	41,4	313	8
220	18	16	14	38,6	105,6	10,7	313	9
221	19	9	57	39	358,4	36,2	347	10
222	19	15	41	42	404,2	41,6	347	10
223	20	8	6	25,5	305,2	28,7	302	5
224	20	8	31°	28,6	308,8	29,5	302	5
225	20	9	58	38,9	872	88,1	302	4
226	20	13	11	50,6	896,9	95,7	302	8
227	20	14	27	47,9	853,2	90,3	302	8
228	20	15	27	43,2	1036,6	106,7	302	8
229	20	16	3 ੈ	39,5	680,9	69,5	302	8
230	21	-8 -	11	26	231,8	21,8	320	8
231	21	8	46	30,3	438,9	41,5	320	8 8
232	21	9	33	35,9	228,6	22,6	320	9
233	21	13	20	50,3	1070,7	113,2	320	9
234	21	14	44	46,6	1004,4	105,3	320	9
235	21	15	29	42,8	632,7 ³	65,1	320	10
236	21	16	17	37,8	539,9	54,5	320	10
237	- 22	8	6	25,2	56,8	5,4	354	10
238	22	8	45	30	201,3	19,0	354	10
239	22	9	33	35,7	224,1	22,2	354	10
240	22	12	58	50,2	1020,1	107,9	354	10

Продолжение табл. 1

No.	Чис-	Врема	и мск	Высота	alle a see to a large of	ravi musta	Суммар-	Облач-
п/п	ло	rentu <u>a dita s</u>		солнца,	УФ-В	УФ-эВ	ный озон,	ность,
11/11	,,,,	ч	нин	град.	1	e	Д. ед.	баллы
241	22	15	40	41,6	544,5	56,1	354	10
242	22	16	3	39,2	570,8	57,7	354	10
243	23	8	35	28,6	308,5	29,5	300	10
244	23	9	23	34,4	611,9	59,9	300	6
245	.23	9	57	38,3	789	79,7	300	5
246	23	13	18	50	1308,6	138,4	300	4
247	23	14	40	46,5	1231,5	129,1	300	4
248	23	15	31	42,3	967,2	99,6	300	2
249	23	16	3	39	806,9	81,5	300	2
250	24	8	1,	24,2	228,9	22,1	299	7
251	24	8	52	30,5	274,6	26,3	299	9
252	24	. 9	19	33,8	635,2	62,2	299	9
253	25	.8	32	27,9	328,3	31,3	312	8
254	25	9	- 7 L	32,1	390,8	37,8	312	7
255	25	9	58	38	270,7	27,3	312	10
256	25	13	32	49,3	822,3	86,2	312	9
257	25	14	30	46,8	1365,7	143,2	312	6
258	25	15	49	40,1	936,1	95,5	312	4
259	25	16	29	35,8	539,1	53,4	312	8
260	26	8	4	24,2	162,6	15,7	311	10
261	26	8	43	29,1	315,3	30,1	311	10
262	26	9	43	36,1	579,1	57,3	311	10
263	26	13	0	49,4	1070,7	112,2	311	10
264	26	14	53	44,9	432,4	44,9	311	10
265	26	15	26	42,1	194,7	20,1	311	10
266	26	16	2	38,5	170,7	17,2	311	10
267	27	8	32	27,5	124,6	11,9	312	10
268	27	9	17	32,9	130,6	12,6	312	10
269	27	10	41	41,9	216,5	22,3	312	10

Продолжение табл. 1

,	ું મુ		Врем	я мск	Высота	70 37 YOU	nosharji ku.	Суммар-	Облач-
	No T/T	Чис- ло			солнца,	УФ-В	УФ-эВ	ный озон,	ность,
	п/п	,10	ч	ним	град.	W. P. J.	13 (35 PM)	Д. ед.	баллы
	270	27	13	10	49,2	322,6	33,8	312	10
	271	27	14	48	45,1	346,5	36,0	312	10
	272	27	15	28	41,7	585,1	60,3	312	10
	273	27	16	16 🕏	36,8	219,7	22,0	312	10
	274	28	8	49	29,4	80,9	∴7,7	320	10
	275	28	10	10	38,7	178,7	;18,1	320	10
	276	28	15	5	43,6	385,1	്യ40,0	320	10
	277	28	15.	38	40,6	205,7	21,0	320	10
	278	28	16	22	36	121,9	,12,1	320	10
,	279	29	8 8	3	23,5	96,1	9,3	332	10
	280	29	8	30	26,9	173,8	16,6	332	10
	281	29	12	53	48,7	306,2	32,1	332	10
	282	29	15	33	40,8	388,9	39,7	332	10
	283	29	16	1	38	207,8	21,0	332	10
	284	30	8	18	25,2	123,7	11,8	318	10
	285	30	9	13	31,9	224,7	21,7	318	10
	286	30	10	11	38,3	347,5	35,1	318	10
	287	30	13	12	48,4	1123,2	118,9	318	8
	288	30	14	41	44,9	869,1	90,3	318	9
	289	30	15	20	41,8	385,9	39,7	318	10
i	290	30	15	52	38,8	274,1	27,7	318	10
	291	31	8	20	25,2	215,6	20,5	311	10
	292	31	8	59	30	322,7	30,5	311	10
	293	31	910	44	35,2	480,6	47,1	311	10
	294	31	13	32	47,9	655,0	69,3	311	10
	295	31	14	50	44,1	916,6	95,3	311	8.8
	296	31	15	31	40,6	593,6	60,5	311	9
	297	31	16	6	37,1	683,5	68,4	311	5
			2.12		19 58.	te b	1.0	91	

& noscial

Примечание. Звездочкой отмечены случаи, когда на поверхности земли в районе Воейково имелся снежный покров.

Эритемная УФ-эВ радиация (мВт·м⁻²) в Якутске за 2004 и 2005 гг.

Таблица 2

No	A.		ест. декр.	Высота		Суммарный	Облач-
п/п	Число	:(4	мин	солнца, град.	УФ-эВ	озон, Д. ед.	ность, баллы
397		1	1,16	1,715	April 1 1000		1116
		:5	£.05 *	Август 200)4 г.		
1.	1	7	00	19,7	20,8	350	10
2	1	8	00	26,6	33,7	353	10
3	1	9	00	33,3	42,3	356	10
4	1	े 11	00	43,4	54,4	355	10
5	1	12	00	45,7	52,5	351	10
6	1	ੈ ਂ 13	00	45,6	49,7	351	10
7	1	ੌ ⁷ 14	00	43,1	54,1	351	10
8	2	7	00	19,4	11,1	339	10
9	2	8	00	26,4	18,9	339	10
10	2	9	00	33,0	44,0	344	10
11	2	9	58	38,6	31,9	345	10
12	2	11	00	43,1	42,2	345	10
13	2	12	00	45,5	65,2	345	10
14	2	13	00	45,3	32,2	345	10
15	3	9	00	32,8	27,0	344	10
16	3	10	00	38,6	29,3	347	10
17	3	13	00	45,1	55,0	352	10
18	3	14	00	42,6	55,2	352	10
19	4	7	00	19	ଃ11,7 ା	359	10:
20	4	. 8	. 00	∂.∂26	21,1	359	10
21	4	C. 5.9	00	32,6	30,7	362	10 %
22	4	10	5,00	38,3	43,6	366	10
23	4	111	00	42,7	53,9	366	10
24	4	12	00	44,9	73,1	368	10
25	4	13	00	44,8	40,2	368	10
26	4	14	00	42,3	64,1	361	10

Продолжение табл. 2

26		Время, м	ест. декр.	Высота		C	Облач-
№ п/п	Число	. T u 10.	мин	солнца,	УФ-эВ	Суммарный озон, Д. ед.	ность,
				град.	10.0		баллы
27	5	∵7 °	00	18,8	16,0	341	10
28	5	8	00	25,8	22,1	336	10
29	5	9	00	32,4	45,8	335	10
30	5	10	00	38,1	67,1	341	10
31	5	11	00	42,4	85,1	344	10
32	6	7	00	18,6	16,4	333	2
33	6	8	00	25,5	24,9	333	8
34	6	9	00	32,1	47,3	333	10
35	6	10	00	37,8	62,6	329	10
36	6	11	00	42,1	80,9	330	10
37	6	12	00	44,4	104,1	332	10
38	6	13	00	44,3	98,1	332	10
39	6	14	00	41,8	84,2	327	10
40	7	7	00	18,3	14,8	310	10
41	7	8	00	25,3	21,2	310	10
42	7	9	00	31,9	45,7	314	10
43	7	10	00	37,6	67,1	324	10
44	₹ 7	11	00	41,9	56,7	323	10
45	7	12	00	44,1	99,9	329	10
46	7	13	00	44,0	94,6	329	10
47	7	14	00	41,5	84,8	310	10
48	- 8	7	00	18,1	11,4	330	10
49	8	8	00	25,1	24,0	330	10
50	8	9	00	31,6	39,7	331	10
51	8	10	00	37,3	56,9	335	10
52	8	11	00	41,6	55,4	337	10
53	8	12	00	43,9	83,1	340	10
54	8	13	00	43,7	75,0	340	10
55	8	14	. 00	41,2	64,8	336	10

Продолжение табл. 2

№		Время, ме	ест. декр.	Высота		Суммарный	Облач-
п/п	Число	्र ५ प प	мин	солнца, град.	УФ-эВ	озон, Д. ед.	ность, баллы
56	9	7, 7	00	17,9	16,9	316	10
57	9	8	00	24,8	22,4	314	10
58	9	9	00	31,4	43,0	312	10
59	9	10	00	37,1	50,2	317	10
60	9	11	00	41,3	83,4	315	10 🚎
61	9	12	00	43,6	98,3	317	10
62	9	13	00	43,4	92,8	314	10
63	9	14	00	40,9	62,5	314	10
64	11	7	00 🦿	17,4	14,5	321	4
65	11	8	00	24,3	23,7	321	2 🥫
66	11	9	00	30,9	42,3	329	0
67	11	10	00	36,6	58,7	328	2 2
68	11	11	00	40,8	78,4	332	8 %
69	11	12	00	43,0	93,6	331	. 8 %
70	11	13	00	42,8	52,8	331	· 8
71	11	14	00	40,4	56,2	331	9
72	12	7	00	17,1	11,6	341	10
73	12	8	00	24,1	23,5	341	10
74	12	9	00	30,7	44,4	345	10
75	12	10	00	36,3	58,2	337	10
76	12	11	00	40,5	64,5	340	10
77	12	12	00	42,7	77,3	338	j 10 g
78	12	13	00	42,5	67,7	338	10
79	12	14	00	40,1	40,2	341	10
80	14	10	00	35,8	22,5	345	10
81	14	13	00	41,9	87,6	348	10 ·
82	14	14	00	39,4	55,2	341	10
83	15	7	00	16,4	8,9	326	10
84	15	8	00	23,4	20,6	326	. 10

Продолжение табл. 2

12.5	A. I	Время, м	ест. лекр.	Высота	1 1 2 1 1 1		Облач-
N <u>o</u>	Число			солнца,	УФ-эВ	Суммарный озон, Д. ед.	ность,
п/п		ч	мин	град.		озон, д. ед.	баллы
85	15	9	00	29,9	24,8	337	10
86	15	10	00	35,5	99,7	343	10
87	15	11	00	39,6	59,7	345	10
88	15	12	00	41,8	100,1	345	10
89	15	13	00	41,6	68,3	342	10
90	15	14	00	39,1	75,3	342	10
91	16	7	00	16,2	11,4	310	10
92	16	8	00	23,1	26,4	310	10
93	16	9	00	29,6	31,5	314	10
94	16	10	00	35,2	49,6	319	10
95	16	11	00	39,3	59,5	324	10
96	16	12	00	41,5	50,6	327	10
97	16	13	00	41,3	74,2	327	10
98	16	14	: 00 ^a	38,8	73,6	320	10
99	17	7	00	15,9	12,0	304	0
100	17	8	00	22,8	23,4	300	3
101	17	9	00	29,3	40,2	299	3
102	17	10	00	34,9	53,8	301	2
103	17	11	00	39,0	73,4	303	2
104	17	12	00	41,2	53,3	304	3
105	17	13	00	41,0	84,2	304	2
106	17	14	00	38,5	75,8	309	3
107	18	7	00	15,6	11,1	322	2
108	18	8	00	22,6	19,7	322	2
109	18	9	00	29,1	38,2	322	2
110	18	10	00	34,6	52,3	322	3
111	18	11	00	38,7	72,0	326	5
112	18	12	00	40,9	86,8	320	8
113	18	13	00	40,7	53,4	320	10-

Продолжение табл. 2

No .		Время, м	ест. декр.	Высота		Суммарный	Облач-
п/п	Число	4	мин	солнца, град.	УФ-эВ	озон, Д. ед.	ность, баллы
114	18	14	00	38,2	30,4	318	10
115	19	7	00	15,4	8,7	330	10
116	19	8	00	22,3	24,4	330	10
117	19	9	00	28,8	30,8	330	10
118	19	10	00	34,4	45,3	336	10
119	19	11	00	38,4	60,9	334	10
120	19	12	00	40,5	80,1	331	6
121	19	13	00	40,3	74,4	331	6
122	19	14	00	37,8	71,3	332	6
123	20	7.	00	15,1	9,9	319	4
124	20	8	00	22,1	26,4	319	4
125	20	9	00	28,5	35,8	321	8
126	20	10	00	34,1	49,7	323	10
127	20	11	00	38,1	61,6	324	10
128	20	12	00	40,2	79,3	320	10,
129	20	13	00	40,0	76,8	320	10
130	20	14	00	37,5	64,4	318	10
131	21	7	00	14,9	9,6	310	10
132	21	8	00	21,8	18,6	310	10,,
133	21	9	00	28,3	38,0	312	10
134	21	10	00	33,8	49,7	314	8
135	21	11	00	37,8	67,7	311	8
136	21	12	00	39,9	78,3	310	4
137	21	13	00	39,7	76,3	311	8
138	21	14	00	37,2	63,3	311	3.
139	22	7	00	14,6	9,2	300	6
140	22	8	00	21,5	18,6	300	. 4
141	22	9	00	28,0	37,4	305	4
142	22	10	00	33,5	50,1	308	4.7

Продолжение табл. 2

No		Время, м	ест. декр.	Высота		Суммарный	Облач-
п/п	Число			солнца,	УФ-эВ	озон, Д. ед.	ность,
п/п		ч	ним	град.		оови, д. од.	баллы
143	22	11	00	37,5	71,3	301	6
144	22	12	00	39,6	81,0	304	6
145	22	13	00	39,3	76,9	304	6
146	22	14	00	36,8	65,1	310	8
147	23	7	00	14,3	9,1	308	0
148	23	8	00	21,3	18,4	308	0
149	23	9	00	27,7	32,8	305	6
150	23	10	00	33,2	48,7	313	8
151	23	11	00	37,2	63,5	311	10
152	23	12	00	39,2	76,9	307	8
153	23	13	00	39,0	74,4	307	8
154	23	14	00	36,5	56,1	308	10
155	24	7	00	14,1	9,1	296	10
156	24	8	00	21,0	23,1	296	10
157	24	9	00	27,4	33,0	298	10
158	24	10	00	32,9	53,9	305	10
159	24	11	00	36,9	64,4	307	10 ⊛∂
160	24	12	00	38,9	76,0	307	10
161	24	13	00	38,6	69,1	307	10
162	24	14	00	36,1	45,3	307	10
163	25	7	00	13,8	3,2	315	10
164	25	9	00	27,1	17,5	317	10
165	25	10	00	32,6	29,8	319	10
166	25	11	00	36,5	44,0	316	10
167	25	13	00	38,3	36,3	319	10
168	25	14	00	35,8	48,7	317	10
169	26	7	00	13,5	7,7	296	10
170	26	8	00	20,4	15,5	296	7
171	26	9	00	26,8	31,1	304	10

Продолжение табл. 2

NG.		Время, м	ест. декр.	Высота		Суммарный	Облач-
№ п/п	Число	sina a nesi. Sina u n ada	мин	солнца, град.	УФ-аВ	озон, Д. ед.	ность, баллы
172	26	10	00	32,3	38,6	304	10
173	26	11	00	36,2	51,3	308	10
174	26	12	00	38,2	51,8	306	10
175	26	13	00	37,9	69,6	302	10
176	26	14	00	35,4	57,5	302	10
177	27	7	00	13,3	6,4	288	6
178	27	8	00	20,2	10,4	288	10
179	27	10	00	32,0	39,0	304	10
180	27	11	00	35,9	46,9	309	10
181	27	12	00	37,9	59,9	313	10
182	27	13	00	37,6	56,7	313	10
183	27	14	00	35,1	46,1	312	10
184	28	7	00	13,0	6,1	295	10
185	28	8	00	19,9	19,8	295	10
186	28	9	00	26,3	24,6	309	10
187	28	10	00	31,7	49,1	317	10
188	28	11	00	35,6	60,7	313	10
189	28	12	00	37,5	76,1	308	.10
190	28	13	00	37,2	66,7	308	6
191	28	14	00	34,7	45,9	302	6
192	29	7	00	12,7	9,0	300	6
193	29	8	00	19,6	25,7	300	- 5
194	29	9	00	26,0	34,1	300	4
195	29	10	00	31,3	52,7	300	2
196	29	11	00	35,2	62,3	300	0
197	29	12	00	37,2	73,5	300	0
198	≥29	13	00	36,9	66,5	300	0
199	29	14	00	34,4	57,0	300	0
200	30	7	00	12,4	6,5	299	10

Продолжение табл. 2

N⊵	Число	Время, м	ест. декр.	Высота солнца,	УФ-эВ	Суммарный	Облач- ность,
п/п		щ,	, мин	град.		озон, Д. ед.	баллы
201	30	8	00	19,3	22,2	299	10
202	30	9	00	25,7	31,3	293	10
203	30	10	00	31,0	46,2	288	10
204	30	11	00	34,9	49,8	292	10
205	30	12	00	36,8	72,8	285	10
206	30	13	00	36,5	70,1	285	10
207	30	14	00	34,0	53,3	293	10
208	31	7	00	12,2	6,0	292	10
209	31	8	00	19,0	18,9	292	10
210	31	9	00	25,4	28,7	295	10
211	31	10	00	30,7	47,4	295	10
212	31	11	00	34,6	54,8	296	10
213	31	12	00	36,5	56,0	294	10
214	31	13	00	36,1	49,8	294	10
215	31	14	00	33,6	45,4	295	10
`		€किल	đ	евраль 200)5 2		
	I	at Lagari			1		
216*]	10	00	10,0	2,3	472	10
217*		11	00`	13,0	4,1	488	10
218*	7	12	00	15,0	5,9	493	10
219*	15	13	00	15,1	5,9	493	10
220*	15	14	00	13,5	4,6	489	10
221*	15	15	00	10,2	2,7	477	10
222*	16	10	04	9,9	2,2	492	10
223*	16	11	00	13,3	4,8	499	10
224*	16	12	00	15,3	6,7	471	10
225*	16	13	00	15,5	6,7	471	10
226*	16	14	00	13,8	4,9	484	10
227*	16	15	00	10,5	2,7	485	10

Продолжение табл. 2

No.		Время, ме	ест. декр.	Высота		Суммарный	Облач-
п/п	Число	'	ним	солнца, град.	УФ-эВ	озон, Д. ед.	ность, баллы
228	* 17	10	02	10,1	2,2	464	10
229	* 17	11	00	13,7	4,1	478	10
230	* 17	12	00	15,7	5,9	470	10
231	* 17	13	00	15,8	6,4	470	10
232	* 17	14	00	14,2	5,4	472	10
233	* 22	9	38	10,0	2,2	467	10
234	* 22	10	00	11,7	3,3	467	10.
235	* 22	11	00	15,4	6,1	461	10
236	* 22	12	00	17,5	8,4	466	10
237	* 22	13	00	17,6	9,2	466	10
238	* 22	14	00	15,9	7,3	459	10
239	* 22	15	00	12,5	4,1	467	10
240	* 23	9	34	10,0	2,4	461	10
241	* 23	10	00	12,1	3,8	461	10
242	* 23	11	00	15,8	6,7	459	10
243	* 23	12	00	17,8	9,0	458	10
244	* 23	13	00	18,0	9,8	458	10
245	* 23	14	00	16,3	6,8	463	10
246	* 23	15	00	12,9	3,9 %	464	10
247	* 24	-9	32	10,2	2,9	455	10 eas
248	* 24	10	00	12,4	4,0	451	10
249	* 24	11,	00	16,2	8,3	449	10
250	* 24	12	00	18,2	11,3	449	. 10
251	* 24	13	00	18,4	11,3	449	10
252	* 24	14	00	16,6	8,5	449	10
253	* 24	15	00	13,2	4,6	449	10
254	* 25	9	26	10,1	2,4	462	10
255	* 25	10	00	12,8	3,6	463	10
256	* 25	11	00	16,5	7,6	457	10

Продолжение табл. 2

№ п/п	число		ест. декр. мин	Высота солнца, град.	УФ-эВ	Суммарный озон, Д. ед.	Облач- ность, баллы
257*	25	12	00	18,6	10,8	459	10
258*	25	13	00	18,7	10,9	459	10
259*	25	14	00	17,0	8,8	459	10
260*	25	15	00	13,6	5,0	459	10
261*	27	9	18	10,1	2,2	454	10
262*	27	10	00	13,5	4,4	463	10
263*	27	11	00	17,3	8,0	471	10
264*	27	12	00	19,3	10,0	477	10
265*	27	13	00	19,5	11,4	477	10
266*	27	14	00	17,7	9,5	484	10
267*	27	15	00	14,3	5,5	484	10
268*	28	, 9	14	10,1	2,7	469	10
269*	28	10	00	13,9	5,0	473	10
270*	. 28	11	× 000	17,7	~ : .9,9 1.	469	10
271*	28	େ 12	- 00	19,7	12,8	466	10
272*		13	00	19,9	12,2	466	10
273*	28	14	00	18,1	9,6	467	10
274*	28	15	00	14,6	5,7	467	10

Примечание. Звездочкой отмечены случаи, когда на поверхности земли в районе Якутска имелся снежный покров.

В табл. З приводятся вычисленные коэффициенты корреляции за каждый месяц, полученные между синхронными значениями энергетической УФ-В и эритемной УФ-эВ радиации в Воейково в 1999 и 2000 гг. Из таблицы следует, что полученные коэффициенты корреляции очень высокие (близки к 0,99), что может свидетельствовать, в частности, о хорошем качестве измерений УФ-В и УФ-эВ радиации.

Представляется интересным сравнение данных измерений эритемной УФ-эВ радиации (включая коэффициент корреляции) в безоблачной атмосфере при одинаковом суммарном озоне (X),

Коэффициент корреляции - Месяц 1999 г. 2000 г. 0,98 Ι 0,99 \mathbf{II} 0,99 0.99III 0,99 0,99 IV 0,99 0,99 0,99 0,99 0,99 VI 0,99 0,99 0,99 0,99 \mathbf{viii} 0,99 IX 0,99 0,99 X 0,94 0,99 ΧI 0,99 0.99 XII 0,98 0,98

полученных с помощью ультрафиолетметра [8], и средних канадских данных (табл. 4). Из таблицы следует, что расхождение между указанными значениями УФ-эВ, полученными разными методами, не превышает их погрешности [8], что свидетельствует о тесной корреляционной связи между ними (коэффициент корреляции равен 0,99).

Таблица 4

Данные измерений эритемной УФ-эВ радиации в безоблачной атмосфере, полученные с помощью ультрафиолетметра в Воейково в 1999 и 2000 гг., и средние канадские данные [13] при тех же значениях высоты солнца и суммарного озона

Home	Высота сол-	X	∨ Х топромеден же так УФ-эВ мВт- м⁻² г ийа ша топ Ма		
Дата	нца, град.	Д.е.	по ультрафиолетметру	по канадским данным	
12.05.99	32,6	391	39	39	
13.05.99	33,9	400	38	41	
14.05.99	35,4	396	41 1 10 10	45.	

т в выдальной будот в выправление табл. 4

высота со	ол- Х	УФ-эІ	3 мВт⋅м ⁻²
Дата нца, гра	д. Д.е.	по ультрафиолетмет	ру по канадским данным
17.05.99 35,8	404	46	46
17.05.99 41,2	404	67	64
17.05.99 38,9	404	59	56
21.05.99 32,6	359	1240 Page 1	7. Po a popul 43
21.05.99 36,3	359	52	3. 1 10 3. 3. 55 1 3 2 2 1
02.06.99 32,2	331	47	2. Total (1.14.17) 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1.
02.06.99 39,9	331	86	77
09.06.99 41,4	321	93	86
09.06.99 52,6	321	159	140
09.06.99 46,3	321	117	108
09.06.99 43,9	321	104	97
09.06.99 42,2	321	89	89
12.06.99 33,4	304	52	57 ;
24.06.99 37	332	68	64
24.06.99 41,7	332	83	84
26.06.99 42,4	307	102	94
26.06.99 53,4	307	151	146
28.03.00 33,1	429	36	36 c
28.03.00 29,8	429	30 28 6	28
28.03.00 23,4	429	15	17
20.05.00 25,9	347	23	26
20.05.00 29,9	347	34	36
20.05.00 38,4	347	65	65
01.07.00 27,4	339	27	31
01.07.00 31,9	339	42	43
01.07.00 39,8	339	78	73
11.08.00 45,2	311	120	107
Коэффициент ког	реляции		0,99

Как уже упоминалось, в 2001 г. в Обнинске были проведены официальные сравнения показаний приборов для измерения УФ радиации [8]. Результаты этих сравнений и соответствующий ко-

эффициент корреляции между данными сравнений, равный в среднем 0,99, приводятся в табл. 5. Столь высокий коэффициент корреляции и близость полученных данных друг к другу свидетельствуют также о доброкачественности полученных данных.

Таблица 5

Коэффициенты корреляции между значениями эритемной радиации (мВт м⁻²), измеренными в период сравнений с помощью спектрофотометра и ультрафиолетметра (Обнинск, 16—19 сентября 2001 г.) [8]

ч		Высота	Облач- ность, баллы	УФ-әВ мВт·м ⁻²					
	мин	солнца, град.		по спе	ктрофо	тометр	у	о ультр	афиолетметр
	1944. 1944		16 сентs	ября (Х	₂₀ = 2	83 Д.	e.)		i sai s
	p.			95	*	7000		1340	
10	19	31,6	3	4.4	53			2.34	58 ^{1/13/13/1}
10	28	32,2	3		54	1.5		13	57
10	41	33,4	3	1.3	58	P. C.		2.15	63 3 30.4
10	48	34	3	151	60	1975		5 C 5	67 (8,00)
14	03	34	1	1	59	577.5		5 46	68
14	24	32,7	2	.3.	53	Par			60
14	32	31,5	3	5.5	50	ONS		1 38	57
15	12	27,6	. 3	9 ¹ ,5	35	化原水	!	1. 274	40
15	15	27,4	3	A I	35		,	1,55	39
•	32	•	:	4 1 7	:			18 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	A Page 18
Коэффициент коррел			ииции	22°	3 1	(98,9	7 _{55,1} +_	i a hy ir
	25	-		134				5 A	in to a
			17 сентя	ибря ($X_{\mathfrak{c}}$	$_{\rm p}=28$	83 Д. е	e.)		. Howard
. 1	. 1	,	2 8	Liver in		41.75			
8	32	19,3	0		17	in the second		12 mg	17
9	19	25,1	0	100	31			7 .	33
9	26	25,9	0		34	. 1. 1			36
10	58	34,3	0		65	Euriba.	4.	g value	74
11	12	35,2	0	and the second s	69				77
13	49	34,8	. 0		69	et Ar		1.757.50	79
3	ati (Jan)						ur Salak		nga nagaragan Nga nagaragan
ффео?	ициен	т коррел	яции	aran ing salah br>Salah salah sa		0	,99	9	a in the second

Время мск		Высота	Облач-	УФ-эВ мВт м = 2				
q	ним	солнца, град.	ность, баллы	по спектрофотометру	по ультрафиолетметр			
			19 сентя	<i>бря</i> (X _{ср} = 283 Д. е.))			
9	49	27,8	0.0	- 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	41			
9	57	28,6	0	41	45			
10	27	31,5	, max 0 m	1774000 3 51 Nei Polis	a 1 a 1 a 55°a 1 \\			
10	. 36	32	0-556	1131 12 17 1. 53 190 1. 1901	60, 22, 34, 60			
11 13	03 04	33,9 36,1	0	61	79 C. SMC.			
14	02	- 33,8°°	ō	69 57	63			
14	31	31	0.00	48	3 55 0 3 56 1			
14	59	28,3	0					
				one we have the first	1			

Что касается вопроса о предотвращении вредной для человека передозировки УФ-эВ радиации, то он решается при наличии ультрафиолетметра следующим образом [11]. Учитывается, что ультрафиолетметр позволяет определить оптимальную для человека экспозицию (в прежних публикациях дозу) УФ-эВ радиации по времени приема этой радиации в данное время и в данном месте. При этом определяется промежуток времени Δt , в течение которого на горизонтальную поверхность поступает половина средней пороговой эритемной экспозиции, равной, согласно [3], $40~{\rm MBr}\cdot{\rm q}\cdot{\rm m}^{-2}$. Для определения промежутка времени Δt с помощью ультрафиолетметра в избранный момент времени измеряется величина суммарной радиации $Q_{\rm 3B}$. Затем находят значение промежутка времени Δt (мин) по формуле

$$\Delta t = 2400/Q_{\rm 9B},\tag{1}$$

где $Q_{\rm 3B}$ в мВт ${\rm M}^{-2}$, а значение 2400 — половина средней пороговой эритемной экспозиции (мВт мин ${\rm M}^{-2}$).

При существенно изменяющейся облачности измерения величины Q_{9B} производят чаще, чем при безоблачном небе (например, через 5-10 мин), и в процессе измерений уточняют значение Δt .

Пример расчета Δt . Пусть в пункте наблюдений в данный момент найдено, что $Q_{\rm aB}=40.0~{\rm MBr\cdot m}^{-2}$. Тогда по формуле (1) получим

$\Delta t = 2400/40 = 60 \text{ Muh}.$

Указанная экспозиция относится к неподвижно лежащему человеку. Если человек периодически меняет свое положение, то экспозиция увеличивается в два раза. Заметное превышение этой экспозиции при приеме УФ-эВ радиации может оказать вредное воздействие на здоровье человека [3]. Для удобства расчетов величины Δt в работе [11] приводится таблица. С помощью этой таблицы или соответствующей компьютерной программы можно быстро получать значение Δt (мин), если известна величина $Q_{\rm 3B}$ (мВт·м⁻²).

especience neuro e especience de nome es estable de la comparta de la comparta de la comparta de la comparta d La comparta de la comp

o de a sa colore de representado de altre

- 1. Авторское свидетельство № 892395. Озонометр / Г. П. Гущин, С. А. Соколенко. Бюллетень открытий, изобретений, промышленных образцов и товарных знаков, 1981, № 47. С 09.02.93 г. Патент РФ.
- 2. Александров Э. Л., Израэль Ю. А., Кароль И. Л., Хргиан А. Х. Озонный щит Земли и его изменения. — СПб: Гидрометеоиздат, 1992. — 288 с.
- 3. Белинский В. А., Гараджа М. П., Меженная Л. М., Незваль Е. И. Ультрафиолетовая радиация Солнца и неба. М.: Изд-во МГУ, 1968. 227 с.
- 4. Гущин Г. П., Виноградова Н. Н. Суммарный озон в атмосфере. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 238 с.
- 5. Гущин Г. П., Соколенко С. А. Метрологическое обеспечение и оценка погрешности измерений ультрафиолетовой радиации. Труды НИЦ ДЗА, 1997, вып. 1 (546), с. 123—134.
- 6. Гущин Г. П. Методика, метрология и некоторые результаты измерения ультрафиолетовой радиации в диапазонах УФ-А и УФ-В. Метеорология и гидрология, 1999, № 12, с. 102—110.
- 7. Гущин Г. П. Основные результаты исследований атмосферного озона, атмосферного аэрозоля и ультрафиолетовой радиации. Труды НИЦ ДЗА, 2001, вып. 3 (549). с. 76—107.

- 8. Гущин Г. П., Соколенко С. А., Нерушев А. Ф., Васильев В. И., Шаламянский А. М., Привалов В. И. Сравнение и интеркалибровка приборов для измерения ультрафиолетовой радиации в г. Обнинске 16—19 сентября 2002 г. Метеорология и гидрология, 2002, № 7, с. 94—101.
- 9. Методические указания по производству и обработке наблюдений за естественной ультрафиолетовой радиацией / Составитель Г. П. Гущин. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 24 с.
- 10. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. Шестое издание. ВМО, № 8. Женева, Швейцария, 2000, с. 7.1—7.34.
- 11. Руководство по измерению ультрафиолетовой радиации / Составители Г. П. Гущин, С. А. Соколенко. СПб, изд. НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2002. 27 с.
- 12. Соколов М. В. Прикладная биофотометрия. М.: Наука, 1982. 132 с.
 13. Kerr J. B., McElroy C. T., Tarasick D. W., Wardle D. I. The
- 13. Kerr J. B., McElroy C. T., Tarasick D. W., Wardle D. I. The canadian ozone watch and UV-B advisory programs. In: Ozone in the Troposphere and Stratosphere. Part 2. NASA, 1994, p. 794—797.

Bern der der Greiche der Gertreiter und der Gertreiter und der Gertreiter der Greiche der Gertreiter der Gertre

u engles i julius transcription approximation and proximitis functional and engineering language. I The control of the proximitist and the gradual of the control describing of the second and the control describing The control of th

A CONTROL OF A STATE OF THE STA

Application of the setting of the sett

कुरणा साहार विकास कर तथा के लगका कर का संस्थात है। असे पार्टिक के पार्टिक है। उन्हों के प्रतिकृति के अपने के प्रतिकार कर उपने के पार्टिक है। असे के प्रतिकृति के प्रतिकृति के प्रतिकृति के प प्रतिकृति करणा प्रतिकृति के सम्बद्धिक के स्वतिकृति के स्वतिकृति के स्वतिकृति के स्वतिकृति के स्वतिकृति के स्वति

В. И. Привалов, А. М. Шаламянский, А. А. Соломатникова, С. С. Гулидов

TA LOSS, pare con escentir de se se mayambilis.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЙ ОЗОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР. ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА УФ РАДИАЦИИ И ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ АЭРОЗОЛЯ

Перед озонометрической сетью Росгидромета, как и перед всей мировой озонной сетью, поставлена задача наряду с уже проводящимися непрерывными измерениями общего содержания озона (ОСО) измерять приходящую к земле ультрафиолетовую радиацию (УФР).

Объединение измерений общего содержания озона и УФР совершенно естественно, поскольку, во-первых, уровень приходящего к земле жесткого УФ излучения (диапазон УФ-В) более всего зависит от толщины защитного озонного слоя и, во-вторых, излучение Солнца в УФ диапазоне является источником информации для измерения ОСО.

Приходящую к земле УФ радиацию подразделяют на три диапазона: УФ-А (315—400 нм); УФ-В (280—315 нм) и УФ-С (200—280 нм).

Уровень приходящей к земле радиации в диапазоне УФ-А определяется состоянием облачности, атмосферного аэрозоля, альбедо и мало зависит от содержания озона. Изменчивость УФР чрезвычайно высока: в течение нескольких минут радиация может измениться на несколько порядков.

УФ-В радиация оказывает сильное воздействие на фотобиологические процессы, при переоблучении представляет существенную опасность для биоты, играет большую роль в разрушении небиологических материалов, оказывает сильное влияние на фотохимические процессы в атмосфере. УФ-В радиация очень сильно зависит от содержания озона и его вариаций, поэтому наблюдаемое в последние годы значительное уменьшение содержания озона требует повышенного внимания к уровню УФ-В излучения.

Излучение Солнца в диапазоне УФ-С полностью поглощается озоном в верхних слоях атмосферы.

ВМО на основе достаточно длительного опыта стран, которые ведут регулярные измерения УФР, обобщила результаты этих

измерений и определила следующие основные цели мониторинга УФР: получать информацию о реальных уровнях УФ облучения, в том числе в виде УФ-индексов, выявлять географические особенности и определять тренды суммарной УФР, отмечая особенности изменений ее спектрального состава; получать данные о приходящей к земле радиации для изучения специфических процессов, связанных с УФ облучением, для валидации моделей радиационного переноса, для валидации спутниковых измерений.

В последнее десятилетие во многих странах начались регулярные измерения УФР на отдельных станциях, а в ряде стран организованы специальные наблюдательные сети [6]. В основном для мониторинга УФР используются широкополосные приборы, рассчитанные на измерения либо в диапазоне УФ-В, либо в диапазоне активного (чаще всего эритемного) воздействия УФР [6]. Измерения спектрального состава приходящей к земле радиации в диапазоне 280—400 нм являются наиболее полным источником информации об уровне и возможных разнообразных последствиях воздействия УФР.

Современные требования к спектральной аппаратуре для измерения УФР изложены в документах ВМО [7]. В зависимости от научной цели и от стоимости изготовления и обслуживания УФ спектрофотометры подразделяются на два класса: S-1 и S-2 [7].

Для достижения некоторых из поставленных целей (например, для выявления сравнительно небольших трендов на фоне очень высоких вариаций УФР) требуются высокая точность и высокая степень стабильности долговременных измерений УФР. В то же время для измерения уровня эритемной радиации и УФ-индекса к аппаратуре предъявляются менее строгие требования.

Наиболее высоки требования к приборам класса S-2, которые должны обеспечить продолжительные многолетние измерения во всем диапазоне приходящей УФР (т. е. УФ-А и УФ-В) при соблюдении высокой точности. Несколько ниже уровень требований к аппаратуре класса S-1, он определяется компромиссом между ценой (изготовление и обслуживание) и необходимостью достижения определенных научных целей.

В табл. 1 приведены требования ВМО [7], которым должны соответствовать УФ спектрометры типа S-1 и S-2. Типу S-2 примерно соответствуют спектрофотометры Optronik 742 и Bentham DM150; они используются для измерения спектрального состава УФР в диапазоне 290—400 нм, а также для калибровки широкополосных приборов [9]. Озонный спектрофотометр Брюера по основным характеристикам, и прежде всего из-за сравнительно узкого спектрального диапазона (290—325 нм), относится к типу S-1.

Широкополосные УФ спектрометры (с шириной полосы пропускания более 5 нм), предназначенные в основном для измерения уровня и оценки дозы облучения эритемно-активной радиации, представлены за рубежом достаточно широко. На их основе во многих странах развернуты сети станций (США, Скандинавские страны, Новая Зеландия и ряд других стран). Однако от широкополосных приборов практически всех типов к настоящему времени не удалось добиться достаточно надежного воспроизведения и сохранения абсолютной шкалы [8].

Особые требования предъявляются к системе контроля качества и точности измерений УФР и, в первую очередь, к способам калибровки и системе сохранения шкалы в процессе регулярных измерений [6]. Калибровка аппаратуры и поддержание шкалы абсолютных измерений УФР представляют собой весьма сложную не только в техническом, но и в организационном отношении задачу. Для поддержания единой шкалы УФР на мировой сети требуется согласование национальных эталонов, единство характеристик переносных эталонов (эталонных ламп), очень тщательное выполнение процедуры калибровки ультрафиолетметров, детальное знание их характеристик и постоянный контроль характеристик в процессе эксплуатации. Очевидно, к этому не вполне готовы национальные службы даже тех стран, которые уже сравнительно давно ведут регулярные измерения УФР и имеют сети станций для измерения УФР [6].

Ослабление приходящей к земле УФР в значительной степени зависит от атмосферного озона и оптической плотности атмосферного аэрозоля.

Измерение атмосферного аэрозоля считается одним из приоритетных направлений в работе мировой наблюдательной сети.

Таблица 1

Требования ВМО к спектрометрам для измерения УФР [7]

Vonotemonatory	Требования к параметрам УФ спектрометров	ам УФ спектрометров	ΛΦΟ
Aspariepaciana	Tan S-1	Тип S-2) }
Косинусная зависимость, %			10 m
зенитый угол < 60°	V ∓ 10	¥	
изотр. радиация	<+ 10	ው ት V	
Минимальный спектральный интер-	290—325	290—400	250-420
Bau, HM			
Разрешение $\Delta\lambda_{1/2}$, нм	- (-) (-) (-) (-) (-) (-) (-) (-) (-) (-		1,0
Воспроизводимость шкалы длин волн,		° + 0,03 × ×	< ± 0,2
1			1. p. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1.
Точность установки шкалы, нм	[3 3 5 1'0] + > 6 3 3	90 , 0 + >	< ± 0,2
Крутизна аппаратной функции	<10 ⁻³ Ha 2,5Δλ1/9 or λ	<10-3 на 2,541/2 от дизу	24, 5 247 247
			1.24
		$<10^{-3}$ Ha $6\Delta\lambda_{1/2}$ of $\lambda_{\rm max}$	1
Интервал выборки	< \(\lambda \lambda_{1/2} \)	<.p>∠∆λ₁/9	0,2 нм
Максимальная рапиания. Вт/(м2. нм)			
	λ. Δ.		
H8 2= 400 HW	. A		> 2
Tonor vivinominating in vivo mark Day // 2,2	10 C	9-0	i i
Decogarding open purmur murfons	710	φος 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 -	
1 december ober brig ipri inpriorpu,	01.0) n. T <	4
Br/(w*, Hw)			*/ **
Температура прибора	Должен быть контроль	Должен быть контроль	Термостаби-
	или стабилизация	или стабилизация	лизирован
Время регистрации спектра	Hzw 01 >,	< 10 MMH	< 2 c
Измерение на длине волны 7,, с	701 V 6 7 7		Весь спектр
			одновремен-
			ОН
Суммарная погрешность, %	< ± 10	< ± 5	

Измерения оптической плотности аэрозоля позволяют получать информацию, необходимую для оценки уровня загрязнения атмосферы, влияния аэрозоля на климат и его изменения, для учета влияния аэрозольного ослабления на оптические измерения со спутников.

Объединение в одной аппаратуре измерений общего содержания озона и УФР — наиболее целесообразный способ организации измерений УФР на станциях озонной сети. Однако для того чтобы одним прибором измерять ОСО и УФР, он должен удовлетворять целому ряду трудно совместимых требований. Главные требования к измерениям УФР — определение суммарной радиации в абсолютных единицах и регистрация сигналов в очень широком динамическом диапазоне, а к измерениям ОСО — сочетание измерений по прямому солнцу и зениту ясного и облачного неба.

Совмещение измерений ОСО и УФР реализовано в спектрофотометре Брюера, который регистрирует УФР на нескольких узких участках диапазона для измерения ОСО [3, 5]. В работе [2] были отмечены недостатки этого прибора при измерениях ОСО. Недостатки этого прибора при измерениях УФР — это небольшой диапазон по спектру (285—325 нм, в последних модификациях до 360 нм) и продолжительное время сканирования спектра (5 мин и более). Тем не менее автоматизированные комплексные измерения общего содержания озона, двуокиси серы и спектрального состава радиации в диапазоне УФ-В—главное достоинство спектрофотометра Брюера.

На озонной сети Росгидромета для того, чтобы использовать озонометр М-124 для измерений УФР, применяется специальная корригирующая приставка (шар Лярше). Эта приставка позволяет воспринимать излучение от полусферы неба в дианазоне пропускания первого фильтра озонометра (с максимумом пропускания 302 нм и полушириной 20 нм), а затем пересчитывать его в радиацию УФ-В дианазона.

К сожалению, озонометры M-124 не могут обеспечить достаточной продолжительности не только недавно начатых на сети измерений УФР, но и измерений ОСО, имеющих ряды продолжительностью более 30 лет. Производство озонометров M-124 давно прекращено, действующие приборы эксплуатируются на сети более 20 лет, они изношены физически и устарели мораль-

но. Для дальнейшего нормального функционирования озонометрической сети настоятельно требуется ее переоснащение аппаратурой современного уровня.

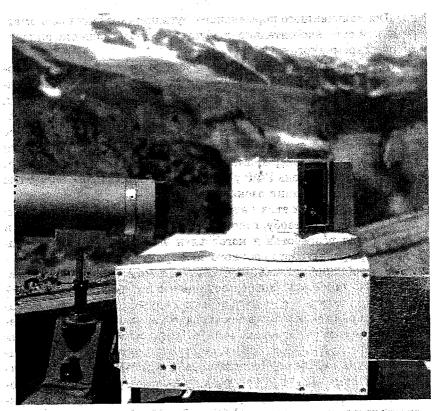
Переоснащение озонной сети Росгидромета предполагает создание и внедрение нового поколения приборов, предназначенных для продолжения измерений ОСО, а также для регулярных измерений уровня и спектрального состава УФР. Кроме того, регистрация спектров УФР позволяет определить спектральное распределение оптической плотности атмосферного аэрозоля (ОПА) и оценить содержание других атмосферных компонентов, влияющих на уровень УФР у поверхности Земли и на результаты измерения содержания озона.

Для реализации этих целей специалистами НИЦ ДЗА (филиал ГГО), ГОИ и Петербургского университета точной механики и оптики был разработан и изготовлен экспериментальный образец ультрафиолетового озонного спектрометра (УФОС).

Основой прибора является спектральный блок—подихроматор с ПЗС-линейкой. Прибор оснащен малогабаритной системой наведения, которая с помощью сочлененных с шаговыми двигателями зеркал и световода поочередно направляет в полихроматор свет от солнца, от зенита неба, от диффузора (т. е. от полусферы неба), а при необходимости от других внутренних или внешних источников света. Полихроматор на дифракционной решетке с ПЗС-линейкой способен выделять спектр радиации в диапазоне от 250 до 420 нм с разрешением около 1 нм и временем регистрации всего спектра от 0,05 до 8 с. Прибор термостабилизирован, полностью управляется персональным компьютером. Внешний вид прибора представлен на рис. 1.

Прибор может быть использован для автоматизированных измерений целого комплекса величин: ОСО, спектрального состава УФР и оптической плотности аэрозоля (ОПА). При разработке прибора учитывалось многообразие требований при комплексных измерениях, а также то, что прибор должен работать на станции длительное время без квалифицированного обслуживания.

В процессе лабораторных исследований и натурных измерений были проверены основные характеристики экспериментального образца УФОС: шкала длин волн, аппаратная функция (разрешение) спектрометра, уровень рассеянного внутри прибора



BAR AND OBSERT PURST. YO OSOHHAM CHEMPOMETP. THE RESERVENCE SAME STATE OF THE MARKET WAS A SECOND WARREN.

света, соотношение сигнал/шум. Результаты исследований, выполненных в 2002—2004 гг., подтвердили работоспособность прибора и соответствие рабочих характеристик расчетным. Основные его характеристики приведены в табл. 2, по которой можно судить о его достоинствах и недостатках по сравнению с действующими на мировой озонной сети приборами. В ходе опытной эксплуатации в конструкцию прибора был внесен ряд изменений.

Исходной информацией для определения уровня приходящей УФР и для измерения ОСО и оптической плотности атмосферы являются регистрируемые прибором спектры УФР. В настоящей

Сравнительные характеристики УФ озонного спектрометра и приборов, используемых на сега ВМО для измерения ОСО и УФР

Характеристика	Спектрофотометр Добсона [4]	Спектрофотометр Врюера [5]	Озонометр М-124	УФ озонный спектрометр
Измеряемые вели- чины	000	ОСО, SO ₂ , спектр УФР	000 000 000 000 000 000 000	ОСО, спектральный состав УФР и ОПА
Изготовитель	Фирма Веск, Англия	Фирма Sun-Teck, Канада	ЦКВ ГМП, Обнинск	гои, ниц дзА, СП6
Спектральная сис-	сис-Двойной кварцевый	Монохроматор на	Два светофильтра	Полихроматор на
	хеф	решетке, ФЭУ	ческого стекла, ФЭ	ПЗС-линейкой
Спектральный диа-	A 306/326	Спектр 295—325 нм.	1ф — макс 302 нм	Спектр
CANA CANA CANA CANA CANA CANA CANA CANA	D 318/338	$O_3 \wedge \lambda = 5.10,1; 5.15,0; 3.16,8; 320 HM SO_2$	200 — Marc 020 HM	200—410 HM
	П/ш 0,45/0,9	λ = 306,3 нм	П/ш ~ 20 нм	LESSO. O'O HAM
Чувствительность к	2.864 (napa AD)	7.295 V. H.M. 0.295	1.0—1.2 (солние)	
озону (при µ = 2).	0,880 (пара СD)		1,6—1,4 (зенит)	
Автоматизация	Her	Автоматизирован	Her	Автоматизирован
Время одного изме-	0,5 мин (пара AD)	до 7 мин	ним 9.0	не более 8 с
рения		5 мин (спектр)	(2 фильтра)	
Bec, Kr	1 8 193 134 135 135 145 145		11 (2) 15 (2) 16 (3) 16 (4) 16 (4) 17 (4) 18 (4)	97
Стоимость, дол. США	100.000	250.000	0002	от 8 000 до 20 000
			I manufacture of the second of	

работе основное внимание уделено использованным в УФОС методам измерения УФР и оптической плотности атмосферы (ОПА). Методы измерения ОСО с помощью УФОС будут изложены в отдельной работе.

Наиболее существенным требованием к приборам, измеряющим УФР, является представление полученных спектров в абсолютных единицах энергетической освещенности. Для этого, прежде всего, необходимо знать спектральную чувствительность прибора в абсолютной шкале.

Ввиду отсутствия в ГГО эталонных источников УФ излучения калибровка УФОС была проведена по эталонам Финского метеорологического института (ФМИ). Калибровка УФОС в рабочем диапазоне спектрофотометра Брюера (290—365 нм) была проведена В. И. Приваловым в г. Йокиойнен (Финляндия) в сентябре 2002 г. В качестве эталонных источников были использованы контрольные галогенные лампы, с помощью которых в ФМИ производится калибровка спектрофотометров Брюера.

К сожалению, установленная по эталонам ФМИ абсолютная шкала была использована для измерений УФР лишь в начале 2003 г., поскольку в дальнейшем в спектральный блок экспериментального образца УФОС и в систему наведения были внесены существенные изменения.

Натурные измерения проводились в Воейково и на Пике Терскол (Приэльбрусье). Наблюдения были выполнены в большом диапазоне высот солнца и погодных условий и позволили выявить достоинства экспериментального образца и его недостатки, которые необходимо устранить при изготовлении следующих образцов УФОС.

Абсолютная шкала УФОС была установлена летом 2004 г. при измерениях, выполненных на Пике Терскол. Способ определения спектральной чувствительности прибора изложен в отчете 2003 г.

«Долгим» методом Бугера (Лангли) были найдены внеатмосферные постоянные УФОС по всей шкале измерений. Примеры определения внеатмосферных постоянных приведены на рис. 2.

Спектральная чувствительность на каждой длине волны определялась по формуле

$$\lg C_{\lambda} = \lg S_{0\lambda} - \lg I_{0\lambda}.$$

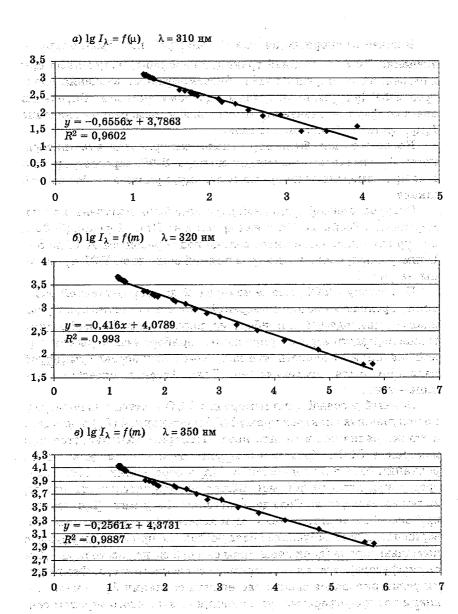


Рис. 2. УФ озонный спектрометр. Определение внеатмосферных постоянных «долгим» методом Бугера. Пик Терскол, 31 июля 2004 г.

В качестве опорных данных S_{λ} (мВт/(м 2 ·нм)) были приняты значения УФР на верхней границе атмосферы, полученые при измерениях со спутника [10]. Внеатмосферные значения спектров УФР $\lg I_{0\lambda}$ были получены «долгим» методом. Определив внеатмосферные значения, можно любое измеренное значение I_{λ} привести к абсолютной шкале.

После того как была определена спектральная чувствительность C_{λ} , оказалось возможным спектры УФР, зарегистрированные при измерениях по прямому солнцу, привести к абсолютной шкале.

Спектры прямой солнечной радиации были получены при измерениях в Воейково (74 м над ур.м.) и на Пике Терскод (3003 м над ур.м.) в диапазоне высот солнца над горизонтом от 15 до 65°. Примеры полученных спектров прямой солнечной УФР приведены на рис. 3.

Поскольку УФОС, кроме измерений прямой солнечной радиации, предназначен для измерений глобальной (суммарной) радиации, приходящей к прибору из полусферы неба, необходимо также перевести зарегистрированные прибором спектры суммарной радиации в абсолютную шкалу УФР. Калибровка суммарной радиации была проведена на Пике Терскол способом «солнце—тень»

Полный разовый цикл измерений УФОС состоит из поочередно полученных спектров прямой (I_{λ}) и суммарной (Σ_{λ}) радиации, а также радиации в зените неба (последнее используется для измерения ОСО). Продолжительность регистрации одного вида радиации составляет не более 5 с (при осреднении десяти спектров с экспозицией 500 мс). Общая продолжительность цикла, включая наводку на Солнце, составляет 1-2 мин. Для измерений способом «солнце—тень» при ясном небе сразу же после завершения цикла запускался следующий, но при этом диффузор с помощью экрана (диск диаметром около 5 см на расстоянии 1,5 м от диффузора) затенялся от прямого солнечного света. Фактически регистрировался спектр рассеянной радиации Z_{λ} , точнее, радиация от полусферы минус радиация от закрытого экраном сектора неба с телесным углом $3-5^{\circ}$. Соответственно разность $\Sigma_{\lambda}-Z_{\lambda}$ представляет собой прямую солнечную радиацию, пада-

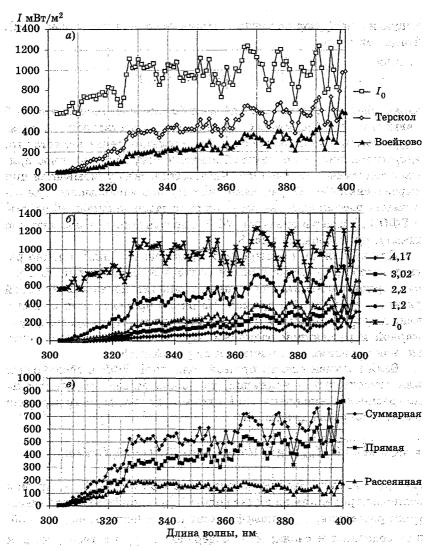


Рис. 3. УФ озонный спектрометр. Спектральное распределение УФР. a) прямая солнечная радиация в Воейково и на Пике Терскол при m=1,28; b) прямая солнечная радиация у земли на Пике Терскол (I_{λ}) при разных m и на верхней границе атмосферы (I_0) ; e) суммарная, прямая и рассеянная радиация на Пике Терскол при m=1,28.

ющую на диффузор под углом Θ (высота солнца над горизонтом). Тогда величина

$$C_{\Sigma\lambda} = I_{\lambda} \sin \Theta / (\Sigma_{\lambda} - Z_{\lambda})$$

может быть использована для калибровки спектров суммарной радиации в абсолютных единицах. Существенным обстоятельством при калибровке способом «солнце—тень» является то, что отклонение от косинусной зависимости, обусловленное прямым солнечным излучением, «автоматически» учитывается при определении $C_{\Sigma\lambda}$. Определение косинусной зависимости при облучении рассеянным светом — одна из задач дальнейшей работы с УФОС. Примеры спектров УФР, пересчитанных в абсолютную шкалу, приведены на рис. 3.

При регулярных измерениях практически одновременно регистрируются спектры прямой солнечной радиации и спектры суммарной радиации. Рассеянная радиация представляет собой разность суммарной и прямой. На рис. З приведен пример полученных при измерениях на Пике Терскол спектров прямой, суммарной и рассеянной радиации. При плотной облачности суммарная радиация не отличается от рассеянной.

Если получен спектр прямой солнечной УФР в абсолютных или относительных единицах, то можно рассчитать спектральное распределение оптической плотности атмосферного аэрозоля в этом диапазоне длин волн:

$$\delta_{\lambda} = (\lg I_{0\lambda} - \lg I_{\lambda})/m - \beta_{\lambda} - \alpha_{\lambda} X \mu/m - \alpha'_{\lambda} X'm'/m,$$

где $I_{0\lambda}$ — внеатмосферные постоянные УФОС [10]; I_{λ} — прямая солнечная радиация на длине волны λ ; β_{λ} — коэффициент рэлеевского рассеяния; α_{λ} — коэффициент поглощения озона; X — общее содержание озона; X'— содержание других газов; m, μ и m'— оптические массы (рэлеевская, озонная, других газов соответственно).

Пример спектральных распределений оптической плотности атмосферы (ОПА), рассчитанных по спектрам, которые были получены на Пике Терскол, приведен на рис. 4 а. Хорошо выраже-

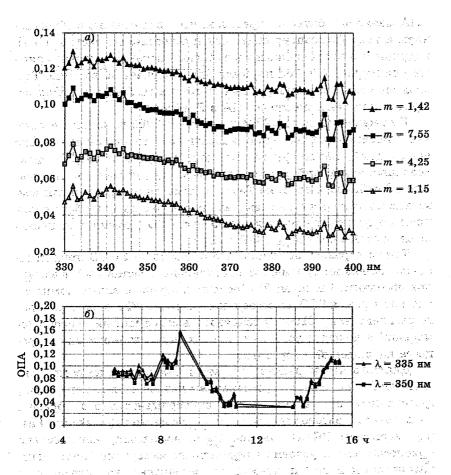


Рис. 4. УФ озонный спектрометр.

а) спектральное распределение ОПА 2 августа 2004 г.; б) дневной ход ОПА

31 июля 2004 г.

но увеличение ОПА с уменьшением длины волны, сравнительно небольшие значения характерны для высоты 3000 м, не просматривается зависимость от атмосферы (высоты солнца).

Изменение спектрального хода ОПА на Пике Терскол в течение светового дня показано на рис. 4 б. Наклон полученных кривых ОПА в течение дня изменялся незначительно, но уровень

ОПА менялся в больших пределах, что явно связано с образованием и трансформацией облачных и аэрозольных частиц, с восходящими и нисходящими воздушными потоками, характерными для горно-долинной циркуляции. Полученные на Пике Терскол значения внеатмосферных постоянных $I_{0\lambda}$ были использованы для расчета спектров ОПА в Воейково.

К сожалению, летом 2004 г. и весной 2005 г. погодные условия в Воейково не позволили набрать достаточно большое число ясных дней, необходимых для калибровки и проверки спектральных измерений с помощью УФОС. Тем не менее выполненные в Воейково и на Пике Терскол измерения подтвердили возможность использовать спектральную аппаратуру на базе полихроматора для регулярных измерений ОСО (этому будет посвящена отдельная статья), УФР и ОПА.

Таким образом, показано, что с помощью УФОС принципиально возможно: 1) измерять спектральный состав УФР в единицах абсолютной шкалы; 2) обеспечить одновременные комплексные измерения ОСО, спектрального состава УФР и спектрального распределения ОПА; 3) реализовать современный уровень измерений в полевых условиях, т. е. полную автоматизацию процесса наблюдений и обработки.

Для того чтобы реализовать эти возможности на сети станций, требуется наряду с устранением недочетов в конструкции, выявленных при эксплуатации экспериментального образца, разработать и изготовить приборы в разных модификациях. Разные варианты УФОС должны быть, во-первых, максимально приспособлены к условиям регулярных измерений (полярным, тропическим и пр.) и, во-вторых, рассчитаны на оптимальное число измеряемых величин. Для обсерваторий, научно-исследовательских организаций, станций высокого разряда компонентов УФОС должен обеспечить полный комплекс возможных измерений, для станций более низкого уровня УФОС может быть изготовлен в упрощенном варианте, но должен быть рассчитан на более длительные измерения. В настоящее время разработан и изготовлен упрощенный вариант УФОС (без системы наведения на солнце), рассчитанный на измерения ОСО и суммарной УФР на полярных станциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Шаламянский А. М. Озонометрическая сеть СНГ. Метеорология и гидрология, 1993, № 9.
- 2. Шаламянский А. М., Ромашкина К. И., Привалов В. И. Сравнительный анализ методов и приборов для наземных измерений общего содержания озона. — Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2004, вып. 5 (553), с. 187—206.
- 3. Brewer A. W. A replacement for the Dobson spectrophotometer. Pure and Applied Geophysics, 1973, v. 106, p. 108.
- 4. Dobson G. M. B. Observer's handbook for the ozone spectrophotometer. 1957b, Ann. IGY, part 1, p. 46—89.
- 5. Evans W. F. J. et. al. Stratospheric ozone science in Canada: A. N. agenda for research and monitoring. Atmospheric Environment report ARD-87-3, 1987. 127 p.
- 6. Guidelines for site quality control of UV monitoring. WMO Report No 126.-45 p.
- 7. Instrument to Measure Solar Ultraviolet Radiation. Part 1: Spectral instruments. WMO Report No 125. 35 p.
- 8. Strategy for implementation of the Global Atmosphere Watch Programme (2001—2007). WMO Report No 142, 2001. 67 p.
- 9. WMO—UMAP Workshop on Broad band UV-radiometers (Garmish-Patrenkirchen, Germany, 22—23 April 1996). —WMO Report No 120. 45 p.
- 10. Woods T. N. et. el. UARS Solar ultraviolet irradiances: Comparison with the ATLAS measurements. J. Geophys. Res., 1996, 101, p. 9541—9569.

The same of the rest was splitted to be an experience of the control of the contr

a de la propiesa de la Coloria (del II) e partir la transportação do Seculto Constanta (de Coloria). A taleita A taleira partir de la propiesa de la caleira de la partir de la propiesa de la propiesa de la filla de la coloria La la COM de la constanta de la coloria
and the second of the second s

und 1900 bet Kenneystorius ein II

ACTION CONTRACTOR SINCE TO THE PARTY OF THE STATE OF THE PARTY OF THE

Т. 3. Зашакуев, В. К. Кремешков, Н. Н. Парамонова, Н. А. Першина, А. И. Полищук, В. И. Привалов, А. А. Соломатникова, В. О. Тапасханов, А. М. Шаламянский

A LA FRED LEBON LIFE

ОБСЛЕДОВАНИЕ ПРЕДПОЛАГАЕМЫХ МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ (РЕГИОНАЛЬНЫХ) СТАНЦИЙ ГСА ПРИЭЛЬБРУСЬЕ — ПИК ТЕРСКОЛ

В 2002 г. XIII сессия Комиссии по атмосферным наукам Всемирной метеорологической организации (ВМО) одобрила Стратегию осуществления программы ГСА на 2001—2007 гг. [9, 12], главной целью которой является отслеживание долгопериодных изменений состава атмосферы на фоновом уровне в глобальном и региональном масштабах для оценки их влияния на эволюцию климата и окружающей среды. 18 апреля 2002 г. Коллегия Росгидромета приняла решение подготовить предложения о создании глобальных (региональных) станций на территории РФ.

На совещании представителей Росгидромета и РАН от 4 марта 2004 г. был рассмотрен проект Концепции реализации Стратегии Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО на территории России. На основании этого решения Росгидромет включил обследование предполагаемых мест размещения станций ГСА в План инспекций на 2004 г.

На территории РФ необходимо было выбрать места расположения глобальных и региональных станций ГСА, соответствующие требованиям ВМО [9, 12]. Согласно этим требованиям на станциях необходимо измерять следующие компоненты (в порядке их приоритетности в документах ВМО): парниковые газы, атмосферный озон, реактивные (химически активные) газы, атмосферный аэрозоль, атмосферные осадки, радиоактивные примеси, солнечную радиацию, включая ультрафиолетовую, стандартные метеопараметры и ряд других.

Поскольку целью измерений на глобальных станциях ГСА является мониторинг фонового состояния атмосферы, характерного для территорий макромасштаба, то первым и основным условием работы станции являются минимальное влияние местных источников и стоков, деятельности человека, а также отсутствие промышленных и других загрязняющих объектов в

радиусе не менее 50 км [13]. В первую очередь, это относится к измерениям приземной концентрации парниковых газов, результаты которых в наибольшей степени могут быть искажены влиянием местных условий. Именно из этих соображений для обследования были выбраны станции, расположенные в горах, где влияние биоты и жизнедеятельности человека существенно ослаблено.

Вторым, не менее важным, условием является обеспечение комплексных измерений, т. е. возможность установки многочисленной прецизионной аппаратуры, которой должна быть оснащена станция, и наличие инфраструктуры, обеспечивающей условия, необходимые для ее длительной и непрерывной работы, для оперативного сбора результатов измерений и передачи их в центры данных [11, 13].

И, наконец, третьим необходимым условием являются наличие квалифицированного персонала на станции и возможность постоянного контроля работы станции курирующими организациями Росгидромета и РАН.

Целью измерений на региональных станциях ГСА является мониторинг состояния атмосферы, характерного для данного региона, т. е. условия измерений на выбранной станции должны быть репрезентативны в масштабах этого региона. Остальные условия измерений на глобальной станции, изложенные выше, необходимы и для региональной станции.

В ходе обследования необходимо было оценить степень соответствия выбранных пунктов изложенным выше условиям.

В 2003 г. в ГГО был выполнен предварительный анализ условий измерения на действующих станциях Росгидромета и РАН. По имеющимся в ГГО и представленным УГМС и институтами РАН материалам наиболее полно соответствуют требованиям к станциям ГСА пункты в Забайкалье (Монды, Хамар-Дабан), в Приэльбрусье (Пик Терскол, Шаджатмаз) и на Полярном Урале (Ра-Из).

Летом 2004 г. специалистами ГГО было проверено реальное состояние этих станций и возможность их использования для организации измерений по программе ГСА. Обследование заключалось в проверке условий наблюдения и в проведении измерений ряда компонентов, уровень которых фактически определяет возможности измерений в этих пунктах. Программа выполнен-

ного обследования включала те компоненты, ответственность за измерения которых возложена на ГГО. В организации инспекции, в подготовке измерительной аппаратуры, в обработке материалов наблюдений, в анализе взятых проб и в анализе полученных результатов участвовали лаборатория контроля озонного слоя, лаборатория дистанционного мониторинга газовых компонентов атмосферы, отдел мониторинга загрязнения атмосферы и другие подразделения ГГО. Обследование проводилось при участии представителей УГМС и институтов РАН.

В настоящей работе приведены основные результаты обследования, выполненного в Приэльбрусье на горной станции Пик Терскол в период с 27 июля по 5 августа 2004 г. (Результаты обследования всех пунктов предполагаемого размещения глобальных (региональных) станций ГСА, их сравнительный анализ подготовлены к публикации отдельной статьей.)

Прежде всего, были проверены на соответствие требованиям ВМО к станциям ГСА условия наблюдений, инфраструктура и возможности размещения персонала и многочисленной прецизионной аппаратуры

Одним из предполагаемых мест размещения станции ГСА была станция Пик Терскол — научно-исследовательская база Высокогорного института Росгидромета (ВГИ) и Высокогорной экологической обсерватории РАН (ВЭО).

Пик Терскол находится на высоте 3003 м над ур.м. на юго-восточном отроге горы Эльбрус на 100 м ниже астрономической обсерватории РАН и Украинской АН на расстоянии 2,3 км к северо-западу от пос. Терскол (численность населения около 1200 человек). На восток, юг и юго-запад от Пика Терскол — крутые спуски в долину Азау и к пос. Терскол (2000 м над ур.м.). В 500 м к северу и северо-востоку начинается зона ледников. Почва каменистая, растительность редкая. Закрытость горизонта от 5 до 15°.

На относительно плоской площадке размером примерно 300×300 м размещены: помещение лаборатории (четыре комнаты), жилое помещение (три комнаты, кухня и подсобные помещения), склад, небольшая метеоплощадка, вышки для аппаратуры. С северной стороны площадки находится недостроенное трехэтажное здание. К станции и астрономической обсерватории проведена линия электропередачи (10 000 В), имеется водовод

от ледника, отопление электрическое. Дорога (серпантин) на Пик Терскол от пос. Терскол в летнее время доступна вседорожникам (ГАЗ-66, Нива и пр.), зимой — вездеходам. Связь сотовая. Почтовые отправления через пос. Терскол или Нальчик. Химических предприятий в окрестностях нет. До ближайшего крупного предприятия — вольфрамово-молибденового горно-обогатительного комбината — 40 км.

В настоящее время на Пике Терскол наблюдения проводятся эпизодически, лишь приземная концентрация озона регистрируется постоянно (аппаратура установлена ЦАО в 2001 г.). Территория и лабораторные помещения давно не использовались и требуют соответственно расчистки и ремонта.

Таким образом, географическое расположение, возможность размещения аппаратуры и организации регулярных наблюдений, условия наблюдений позволяют использовать Пик Терскол как пункт для работы по программе глобальной станции ГСА.

Во время обследования были произведены измерения тех компонентов, уровень которых фактически определяет соответствие пункта требованиям к глобальной станции. Ниже приведены некоторые результаты анализа измерений, выполненных при обследовании.

Парниковые газы (CO₂, CH₄). Опытные измерения концентрации CO₂ и CH₄ на обследуемых станциях производились путем отбора проб воздуха. Измерения концентрации в отобранных пробах выполнялись в лаборатории НИЦ ДЗА. Аппаратура и методика измерений [1, 7] соответствуют рекомендациям ВМО для наблюдений на станциях ГСА [9]. Сопоставимость получаемых данных с данными мировой сети подтверждена результатами международных сравнений [4].

Программа отборов была построена таким образом, чтобы захватить предполагаемые экстремумы концентрации, связанные с характерной для летнего периода сменой процессов перемешивания в течение дня. Отборы проб производились в 6—7 ч утра (период ограниченного перемешивания) и в условиях интенсивного дневного перемешивания (около 18 ч), когда конвективные процессы приводят к возрастанию высоты слоя перемешивания. Для приземных условий такая смена процессов перемешивания при наличии источников примеси приводит к характерному

дневному ходу с максимумом концентрации в утренние часы и минимумом в дневные [2, 10]. В высокогорных условиях указанные процессы в дневные часы приводят к возрастанию влияния слоев атмосферы, расположенных ниже точки наблюдений [11]. Утренние значения как характеристика глобальной атмосферы являются более представительными [11].

При анализе данных рассматривались различие значений концентрации, полученных в утренние и дневные часы, характеристики вариации концентрации, а также соответствие уровня концентрации данным действующих станций ГСА.

Данные зарубежных станций доступны для пользователей по 2002 г. включительно, поэтому при сравнениях следует учитывать изменение фонового уровня концентраций, произошедшее с 2002 по 2004 г. Среднеглобальная скорость роста, полученная по результатам обобщения данных сети мониторинга парниковых газов, составляет 1,5 млн⁻¹ в год для СО₂ и близка к нулю для СН₄ [16]. Указанные значения скорости роста оставались стабильными в течение 2000—2002 гг. [16]. Измеренные в 2004 г. на обследуемых станциях значения концентрации следует рассматривать как соответствующие фоновому уровню, если концентрация метана близка к данным действующих станций ГСА для 2002 г., а концентрация СО₂ выше указанных данных на 3—4 млн⁻¹.

Из табл. 1 видно, что изменение условий перемешивания приводит к дневному ходу концентрации CO_2 и CH_4 . Дневные значения концентрации CO_2 оказываются ниже утренних значений на 7 млн⁻¹, что является характерным для измерений в высокогорных условиях [11] и связано с поступлением из нижних слоев воздуха, обедненного CO_2 , за счет поглощения последнего растительностью. Повышение концентрации метана в дневные часы свидетельствует о наличий его источников, расположенных ниже места наблюдений. Наиболее вероятным источником метана для рассматриваемой станции является скотоводство.

Разброс данных внутри выборок, представленных в табл. 1, соответствует дисперсии среднемесячных значений для станций, расположенных в фоновых условиях северного полушария. Характерные значения стандартного отклонения составляют 1-2 млн⁻¹ для CO_2 и 10 млрд⁻¹ для CH_4 с увеличением до двух раз в отдельные месяцы [15].

Осредненные данные о концентрации ${
m CH_4}$ и ${
m CO_2}$ для станции Терскол для всего массива и характерных выборок — утренних (выборка 1) и дневных (выборка 2) значений

				ка 2
σ CO ₂ млн	• • •		СО ₂ млн ⁻¹	ंठ
8 368,	6 4,1 372	,3 2,8	365,2	1,8
	-1 млн 8 368,	млн — млн	млн ⁻¹ 8 368,6 4,1 372,3 2,8	$egin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$

Полученные значения СН₄ (утренние данные) ниже наблюдаемых на действующих континентальных станциях, которые изменяются в пределах 1810—1830 млрд⁻¹ [15]. Значения СО₂ для утренних отборов на 7 млн⁻¹ выше данных действующих станций за 2002 г. (364—356 млн⁻¹, согласно [15]), что несколько превышает фоновый уровень с учетом изменения концентрации с 2002 по 2004 г. исходя из среднеглобальной скорости роста.

Результаты опытных измерений концентрации двух основных парниковых газов дают основание рекомендовать Пик Терскол для постановки измерений по программе ГСА. По предварительным оценкам Пик Терскол может представлять глобальный уровень концентрации.

Общее содержание озона, УФ радиация, оптическая плотность аэрозоля. На Пике Терскол были выполнены измерения общего содержания озона, измерения спектрального состава УФ радиации и спектрального распределения оптической плотности аэрозоля. Кроме того, была рассмотрена возможность организации оптико-атмосферных измерений (закрытость горизонта, возможность установки аппаратуры для регулярных измерений и т. д.).

Для проведения измерений на Пик Терскол был доставлен озонометр М-124 и ультрафиолетовый озонный спектрометр (УФОС), предназначенный для комплексных измерений общего содержания озона, спектрального состава ультрафиолетовой радиации, спектрального распределения оптической плотности атмосферного аэрозоля (ОПА). Измерения прибором УФОС пред-

ставляли особый интерес, поскольку аппаратуру подобного типа предполагается использовать на российских станциях ГСА.

Измерения ОСО, УФР и ОПА проводились с 28 июля по 3 августа 2004 г.

Несмотря на то что условия наблюдений в дни обследования изменялись и наблюдения проводились по прямому солнечному свету и по зениту ясного и облачного неба, вариации содержания озона были весьма небольшими как в течение дня, так и ото дня ко дню.

Устойчивость и стабильность полученных значений общего содержания озона позволяют считать Пик Терскол местом, достаточно перспективным для измерения фоновых значений ОСО.

С помощью прибора УФОС получен большой массив спектров прямой, солнечной, суммарной и рассеянной радиации в диапазоне от 300 до 400 нм. Описание прибора, разработанные методы измерения спектрального состава УФ радиации и ряд результатов, в том числе полученных на Пике Терскол, изложены в работе [5].

Условия наблюдений на Пике Терскол, а именно очень слабое аэрозольное ослабление на высоте 3000 м, позволили с большей точностью и устойчивостью определить внеатмосферные постоянные спектрометра. Поскольку по данным измерений со спутников значения УФР на верхней границе атмосферы достаточно хорошо определены [5], полученные постоянные прибора оказалось возможным перевести в абсолютную шкалу.

Полученные спектры прямой солнечной УФ радиации были обработаны и прокалиброваны в абсолютной шкале радиации. Методом «солнце — тень» были откалиброваны спектры суммарной радиации.

Зная спектральное распределение УФР, можно получить сведения не только об уровне УФ радиации, но также о спектральном распределении оптической плотности аэрозоля. По спектрам, полученным с помощью УФОС, было определено и спектральное распределение оптической плотности аэрозоля (ОПА) в диапазоне 330—400 нм.

Измерения спектрального распределения ОПА помогли выявить некоторые особенности горно-долинной циркуляции воздуха, существенные для организации наблюдений в этом пункте.

Пик Терскол с очень низким уровнем аэрозольного ослабления предоставляет уникальные возможности для оптико-атмосферных наблюдений. Нескольких дней наблюдений с использованием УФ озонного спектрометра было достаточно для того, чтобы определить внеатмосферные постоянные УФОС и прокалибровать в абсолютной шкале полученные спектры УФ радиации.

Пик Терскол вполне может быть использован как станция ГСА, поскольку в этом месте нет ограничений для производства наблюдений за общим содержанием озона, УФ радиацией и оптической плотностью аэрозоля, а также актинометрических и других оптико-атмосферных наблюдений.

Химический состав осадков. Фоновая минерализации атмосферных осадков составляет около 2—3 мг/л [3]. Атмосферные осадки на фоновых станциях, расположенных в условиях горной местности, характеризуются уровнем минерализации около 5.0-6.0 мг/л (но не более 15.0 мг/л) со стандартным отклонением около 3,0 мг/л. Удельная электропроводность при этом составляет в среднем не более 10 мкСм/см, а величина рН близка к нейтральной (рН = 5,6). Концентрация соединений азота ниже предела обнаружения или не превышает 0,50 мг/л. Уровень концентрации хлоридов изменяется незначительно и составляет около 0,50 мг/л. Содержание сульфатов не превышает 1,0 мг/л. Повышение общей минерализации обусловлено, как правило, увеличением содержания гидрокарбонатов, которые являются преимущественно продуктом выветривания горных пород. Их концентрация в атмосферных осадках зависит от растворимости продуктов выветривания и может колебаться в широких пределах.

В период пребывания на станции специалистов ГГО осадки не выпадали, поэтому были отобраны только пробы лежалого снега из трех слоев. Пробы атмосферных осадков были в последующем отобраны наблюдателем ВЭО РАН и присланы на химический анализ в ГГО.

Минерализация атмосферных осадков и лежалого снега, отобранных на Пике Терскол, составила 1,9—2,5 мг/л; исключение составили осадки, выпавшие 3 августа, в которых уровень минерализации был выше более чем в два раза. Выпадению осадков 3 августа предшествовал длительный сухой период. Увеличение минерализации осадков обусловлено в основном увеличением

концентрации гидрокарбонатов кальция и магния, что естественно в условиях выветривания горных пород.

В пробах осадков и лежалого снега из трех слоев также преобладают: из анионов гидрокарбонаты (их доля составляет около 50 %), из катионов ионы кальция и магния (около 15 %). Концентрация сульфатов ниже предела обнаружения, содержание нитратов в среднем составило около 0,05 мг/л.

Величина рН изменялась незначительно и в среднем составила 6,0.

В питьевой воде из ледника преобладают гидрокарбонаты, ионы натрия, хлориды и сульфаты. Величина рН равна 7,1.

Результаты химического анализа проб атмосферных осадков, лежалого снега и воды показывают, что станция Пик Терскол удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВМО к станциям ГСА. Станция не подвержена влиянию промышленных выбросов и автотранспорта.

и автотранспорта.

Для осадков горной станции Пик Терскол характерно следующее:

- ющее:
 наибольший вклад в общую минерализацию вносят гидрокарбонаты, что обусловлено влиянием естественных (природных) условий;
- средний уровень концентрации хлоридов (0,4—0,6 мг/л) характерен для вклада циклических солей в минерализацию континентальных осадков;
 - содержание сульфатов ниже предела обнаружения;
- атмосферные осадки слабощелочного или щелочного характера, что обусловлено наличием гидрокарбонатов кальция и магния местного природного происхождения.

Станция Пик Терскол может быть рекомендована в качестве одной из глобальных станций ГСА ВМО.

По результатам выполненных в ходе обследования пробных измерений содержания парниковых газов (углекислого газа и метана) и оптико-атмосферных газов (общего содержания озона, ультрафиолетовой радиации и оптической плотности атмосферы), химического состава атмосферных осадков, снега и воды было рассмотрено соответствие прошедших обследование пунктов требованиям ВМО к измерениям по программе глобальной или региональной станции.

В отношении станции Пик Терскол было сделано следующее заключение. Измерения на Пике Терскол могут обеспечить регулярную информацию о фоновом уровне парниковых газов и других компонентов, а также о заносах примесей с территории Центральной и Западной Европы и с Ближнего Востока. Пик Терскол является идеальным местом для калибровки оптико-атмосферных измерений, которые должны выполняться по программе ГСА и по другим программам Росгидромета. Инфраструктура и условия наблюдений позволяют без больших капитальных вложений начать наблюдения по программе ГСА. В этом пункте с 2001 г. проводятся наблюдения за приземной концентрацией озона. Во время обследования начаты измерения ОСО и отбор проб осадков. Эти работы продолжают выполнять сотрудники ВЭО.

BERTHARD OF THE SERVICE OF THE SERVI

Для организации измерений по программе ГСА требуется привести в порядок метеоплощадку и окружающую территорию, отремонтировать помещения лабораторий, предназначенные для размещения измерительной аппаратуры, и жилые помещения для персонала станции.

ВГИ и ВЭО РАН готовы оказать всяческое содействие и непосредственно участвовать в организации наблюдений на Пике Терскол по программе ГСА.

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам лабораторий ГГО, НИЦ ДЗА, принимавшим участие в подготовке аппаратуры, анализе проб и обработке полученных данных, а также сотрудникам ВГИ и ВЭО, обеспечившим организацию работ на Пике Терскол.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Броунштейн А. М., Фабер Е. В., Шашков А. А. Газоаналитическая установка для осуществления мониторинга концентрации ${\rm CO_2}$ в атмосферном воздухе. Труды ГГО, 1984, вып. 472, с. 11-16.
- 2. Зинченко А. В., Парамонова Н. Н., Привалов В. И., Решетников А. И. Оценка эмиссии метана в районе Санкт-Петербурга на основе данных измерений его концентрации в приземном слое. Метеорология и гидрология, 2001, № 5, с. 35—49.
- Обзор фонового состояния природной среды на территории РФ за 2000 год.
 Метеорология и гидрология, 2001, № 5, с. 35—48.

- 4. Парамонова Н. Н., Привалов В. И., Решетников А. И. Мониторинг углекислого газа и метана в России. — Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2001, т. 37, № 1, с. 38—43.
- 5. Привалов В. И., Шаламянский А. М., Соломатникова А. А., Гулидов С. С. Ультрафиолетовый озонный спектрометр. Измерения спектрального состава ультрафиолетовой радиации и оптической плотности аэрозоля. См. наст. сборник. and the Committee of th
- 6. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52,04.186—89. М.: Гидрометеоиздат, 1989. — 481 с.
- . 7. Сметанин Г. Н., Привалов В. И., Решетников А. И., Парамонова Н. И. Газохроматическая установка для прецизионных измерений концентрации метана в атмосфере на фоновом уровне. — Труды НИЦ ДЗА (филиал ГТО). Прикладная метеорология, 2000, вып. 2 (548), с. 121-130.
- 8. Addendum for the Period 2005—2007 to the Strategy for Implementation of the Global Atmosphere Watch Programme (2001—2007). — WMO, GAW, No. 156.

 9. Global Atmosphere Watch Measurements Guide. — WMO, GAW, No. 14.
- 10. Levin I., Glatzel-Mattheier H., Maric T., Cuntz M., Schmidt M. Verification of German methane inventories and their recent changes based on atmospheric observations. — J. Geophys. Res., 104, 3447—10.
- 11. Necki J.M., Schmidt M., Rozanski, Korus A., Lasa J., Levin I. Six-year record of atmospheric carbon dioxide and methane at a high-altitude mountain site in Poland. — Tellus, 1999, 55B, 94—104, 3456.
- 12. Strategy for Implementation of the Global Atmosphere Watch Programme (2001-2007). — WMO, GAW, No. 142.
 - 13. WMO TD No. 1073.
- 14: WMO Technical regulation, V.1, Ch B2, GAW, Annex to Resolution 3 (EC-XLIV).
- 15. WMO WDCGG CD-ROM No.10. Data for Greenhouse Gases and Other Atmospheric Gases. — Published by the Japan Meteorological Agency in cooperation with the WMO, 2004.
- 16. WMO WDCGG Data Summary WDCGG No.28 GAW DATA. Volume 4. Greenhouse gases and other atmospheric gases. — Published by the Japan Meteorological Agency in cooperation with the WMO, 2004.

eus en lamme e estand

and the extension of

as settinua in la lan avantinos técnicos no coma ratificación a vieta que la lan como de transferio. I ्रिक्ष निर्देशकार को अधिक । सर्वारकी के देन के का का मानुकार के को को के के कुछ के का का क्षाकार मानुका का कि

化双氯甲酚 网络克雷克 医二氯基 医乳膜 化二十二甲基甲烷医甲烷 计通信点 医电阻性 网络马拉 nay gyra ya a sa a karanga kanya kanya ni kasan kasandi sasandin ya kasandin kanana kata intana nasa nasa kasa

กระดูสารแบบได้ (17) คุณสมุระสมุนิ (18) เป็นสามารถโดยกุรกิ

รถองตามุก แกรงทำวัง ค.ศ. (พ.ศ.) (ของสร้างกระทำ

THE TOOL OF STATE IN THE TOOL

Tuest Fills area in the standard Till Altha

· PO I L E R C · PO C I C · PO CANDER # I CORRO · PAME ·

Production of the production o

្នុងសមានជាសាក

ВЛИЯНИЕ АДСОРБИРОВАННОГО ИОНА НА ПЛОСКОМ НЕРАСТВОРИМОМ АЭРОЗОЛЬНОМ ЯДРЕ НА ГЕТЕРОГЕННУЮ КОНДЕНСАЦИЮ ВОДЯНОГО ПАРА В ОБЛАКАХ

Образование облачных капель происходит на гигроскопических и нерастворимых аэрозольных частицах. Рассматриваемый ранее конденсационный процесс на таких частицах не предполагал наличия на их поверхности адсорбированных ионов.

Для упрощения расчетов гетерогенной конденсации на аэрозольной частице обычно считают, что она имеет сферическую форму, а конденсационный зародыш на ней — выпуклую форму. Однако даже с таким упрощением геометрических форм частицы и зародыша расчеты фазового гетерогенного перехода чрезвычайно трудоемки. Поправочный коэффициент, учитывающий радиусы частицы и зародыша, имеет очень громоздкий вид. Впервые он был рассчитан в [5]. Его вид приводится, например, в [1].

Расчеты гетерогенной конденсации сильно упрощаются, если подложка частицы, на которой оказался ион, имеет плоскую геометрическую форму [3, 5]. Очевидно, что геометрическая форма подложки не может иметь качественного значения для эффекта действия иона на гетерогенную конденсацию. Поэтому исследование действия электростатического поля иона на конденсацию проведем в предположении плоской подложки — субстрата.

Из общего принципа расчета гетерогенного фазового перехода водяной пар — жидкая фаза воды запишем разность свободных энергий конечного и начального состояния систем ΔG . Эта разность свободных энергий будет включать, прежде всего, известное термодинамическое выражение без электрического поля иона ΔG_T [3, 5]. Благодаря иону дополнительная разность свободных энергий представляет собой разность объемных энергий электростатического поля иона в жидкой и парообразной фазах в объеме зародыша воды ΔG_E . Кроме того, ион взаимодействует с ближайшими молекулами воды в жидкой фазе и с молекулами водяного пара в парообразной воздушной среде. Найти свободную энергию F этих взаимодействий с пространственно распреде-

ленным зарядом иона [2] сколь-нибудь строго не представляется возможным. Ясно только, что из-за большей плотности воды отрицательная энергия взаимодействия иона с непосредственно примыкающими к иону молекулами воды будет по абсолютной величине больше, чем энергия взаимодействия иона с водяным паром. Это может только незначительно усилить эффект нуклеации, поэтому этим пренебрегаем.

Объемная энергия электростатического поля иона в диэлектрической среде простирается от границы области радиусом a, связанной с размерами иона, до границы поверхности радиуса зародыща r. На рис. 1 изображено вертикальное сечение зародыща на плоской подложке. Радиус области a складывается из радиуса иона и линейного размера молекулы воды. Для определенности считаем ион молекулярным ионом естественного атмосферного воздуха (O_2^+ , O_2^- , N_2^+). Радиусы этих нейтральных молекул в модели жестких упругих сфер составляют $\sim 1,8\cdot 10^{-8}$ см [4]. Радиусы указанных молекулярных ионов, рассчитанные в [2], оказались такими же. Линейный размер молекулы воды равен $3\cdot 10^{-8}$ см. Таким образом, радиус системы a, начиная с которого рассчитывается объемная энергия электростатического поля иона, будем считать равным $4,8\cdot 10^{-8}$ см.

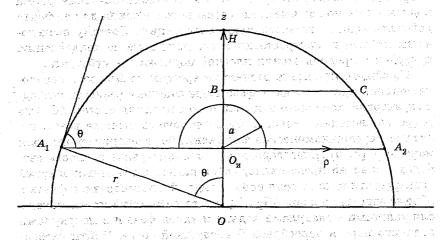


Рис. 1. Вертикальное сечение зародыша на плоской подложке.

Выражение для разности свободных энергий конечной и начальной фаз воды с учетом рис. 1 будет иметь следующий вид:

$$\Delta G = -V \frac{N}{18} kT \ln \frac{p}{p_{\infty}} + S\sigma + \left[r^2 - (r\cos\theta + z)^2 \right]^{1/2} + \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) \frac{q^2}{8\pi} \left\{ \int_{0}^{r(1-\cos\theta)} dz \int_{a}^{2\pi\rho d\rho} \frac{2\pi\rho d\rho}{(\rho^2 + z^2)^2} + \int_{a}^{r(1-\cos\theta)} \frac{\pi a^2 dz}{z^4} \right\},$$

$$V = \frac{\pi}{3} r^3 f(\theta), \quad S = \pi r^2 f(\theta), \quad f(\theta) = 2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta,$$

$$r = \frac{2\sigma_{12}}{k \frac{N}{18} T \ln \frac{p}{p_{\infty}}}, \quad \frac{1}{\varepsilon} << 1,$$
(1)

где V — объем выпуклого зародыша на плоской подложке; S — его поверхность на границе вода — водяной пар; N — число Авогадро; k — постоянная Больцмана; p и p_{∞} — соответственно давление водяного пара и давление насыщенного водяного пара над плоской поверхностью воды; σ — поверхностное натяжение на границе вода — водяной параметр (76 дин/см при температуре T=273 K); ε — диэлектрическая постоянная воды (~ 90); r — радиус зародыша, который очень близок к радиусу просто гомогенного зародыша [1, 6].

Из геометрического расположения зародыша на плоскости подложки (см. рис. 1) находится его объем и поверхность при краевом угле θ .

Для расчета объемной энергии электростатического поля вводится цилиндрическая система координат с началом в точке $O_{\rm u}$ — положение центра иона, A_1A_2 — сечение площади подложки, O— центр сферы с радиусом зародыша r, $OO_{\rm u}=r\cos\theta$, $O_{\rm u}H=r(1-\cos\theta)$, BC— линия на высоте $z=O_{\rm u}B$.

Суммарная энергия электростатического поля иона находится сперва интегрированием по радиусам окружностей, начиная с радиуса a и до поверхности зародыша на высоте z, а далее по всем

уровням z. Остается включить область электростатического поля вблизи оси z радиуса a от уровня a до верхней точки зародыша. Электрическая часть разности свободных энергий определяется конфигурацией электростатического поля относительно иона в объеме зародыша.

Выполняя интегрирование в (1), запишем выражения для разности свободных энергий отдельно для термодинамической и электрической частей:

$$\Delta G = \Delta G_T + \Delta G_E, \quad \Delta G_T = \frac{\pi}{3} \operatorname{\sigma} r^2 f(\theta),$$

$$\Delta G_E = -\frac{q^2}{8} \left\{ \frac{1}{a} \operatorname{arctg} \frac{r(1 - \cos \theta)}{a} + \frac{1}{3a} + \frac{1}{2r \cos \theta} \operatorname{lntg}^2 \frac{\theta}{2} - \frac{a^2}{3r^3 (1 - \cos \theta)^3} \right\}.$$
(2)

Чтобы установить реализацию фазового перехода при определенных значениях параметров, следуя [5], исходим из выражения для скорости нуклеации JV — числа зародышей, образовавшихся за одну секунду в объеме зародыша. Если

$$JV = 10^{25} \exp\left\{-\frac{\Delta G}{kT}\right\} Vc^{-1}$$

то условие образования капли будет иметь вид $JV \geq 1$.

В табл. 1 приведены рассчитанные значения JVc^{-1} без влияния поля иона $-J_TVc^{-1}$ (взята только часть ΔG_T) и с влиянием поля иона $-J_EVc^{-1}$ ($\Delta G = \Delta G_T + \Delta G_E$). В качестве параметров выступали пересыщение, связанное с радиусом зародыша r (1), и краевой угол θ . Из рис. 1 видно, что ион будет внутри водяного зародыша при условии $a < r(1 - \cos \theta)$. Это условие было учтено при выборе r, связанного с пересыщением p/p_∞ , и θ .

Из табл. 1 следует, что при среднем значении пересыщения в облаках 1,005 электрическое поле иона оказывает заметное вли-

Tabauua 1

при $T=273 {
m K}$ в зависимости от пересыщения водяного пара $p/p_{\omega},$ радиуса зародыша r и краевого угла θ без влияния поля иона (J_TVc^{-1}) и с влиянием поля иона J_EVc^{-1} Скорость нуклеации применительно к объему зародыша V радиуса зародыша г и краевого угла в

$J_E V_C^{-1}$	$10^{-11.87}$ $10^{-2.336} = 4,61 \cdot 10^{-3}$	10-74,50	10249		103.66	$10^{-0.221} = 0.601$	ξ.	
J. V.		. 10 - 82 · 83 · · · · · · · · · · · · · · · · ·		06101	$10^{-1.62} = 0.0239$	$10^{-1.534} = 0.0292$	$10^{-1.73} = 0.0186$	1,17
$\sim \Delta G_E$ spr	o	$0,980 \cdot 10^{-12}$	$6,254 \cdot 10^{-13}$		$4,567 \cdot 10^{-13}$	1,139.10-13	$2,580 \cdot 10^{-13}$	
ΔG _T apr	$2,021\cdot 10^{-12}$	8,026 . 10-12	8,773 10 ⁻¹³ ($5,614.10^{-13}$	5,774 . 10-13	5,458.10-13	5,318 . 10 ⁻¹³	$5,064 \cdot 10^{-13}$
.0	າດ	10	10	01	12	20	30	ъ
r cm	2,42 · 10-5	$1,21 \cdot 10^{-5}$	4.10_6	8,2 · 10 -6	1,45 · 10 -6	8 10-7	3,60 · 10-7	$1,\!21\cdot10^{-5}$
p/p_{∞}	1,005	1,01	1,03	1,038	1,086	1,16	1,396	1,01

яние на JVc^{-1} , но образование капли происходит только на 4,61 иона из всех 1000 адсорбированных ионов. В случае предельного для облаков пересыщения 1,01 нуклеация реализуется при $\theta=5^\circ$ без влияния поля иона. При больших краевых углах, начиная с 10° , электростатическое поле иона приводит к нуклеации при пересыщении не менее 1,03. По мере увеличения краевого угла требуется все большее пересыщение.

Таким образом, электростатическое поле адсорбированного иона естественного атмосферного воздуха на плоской поверхности аэрозольной частицы, хотя и вносит заметный вклад при малых краевых углах в вероятность гетерогенного фазового перехода водяной пар—вода, но этот вклад слишком мал, чтобы привести к гетерогенному образованию капель на плоском нерастворимом ядре в реальных облачных условиях.

Только в специальных экспериментальных установках с большим пересыщением водяного пара, чем в облаках, ион способен стимулировать указанный гетерогенный фазовый переход.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Клинго В. В. К уточнению расчета работы образования гетерогенного зародыша на сферической частице. Труды ГГО, 1991, вып. 536, с. 19—24.
- 2. Клинго В. В. Ионы естественной атмосферы как электростатические системы. В сб.: Труды Второй международной конференции «Естественные и антропогенные аэрозоли». СПб., 2000, с. 232—238. (Klingo V. V. Atomic and molecular ions of natural atmosphere as electrostatic systems. Proc. of 15th ICNAA. Rolla, Missouri, USA, 2000).
- 3. Мелешко Л. О. Молекулярная физика и введение в термодинамику. Минск, 1977. 382 с.
- 4. Чепмен С., Каулинг Т. Математическая теория неоднородных газов. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 510 с.
 - 5. Fletcher N. H. The Physics of rainclouds. Cambridge, 1966. 389 p.
- Klingo V. V. Heterogeneous embryo radius on spherical substrate. Proc. of 14th ICNAA. Helsinki, 1996, p. 145—148.

ОПЫТ СОВМЕСТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ГРОЗАМИ ГРОЗОПЕЛЕНГАТОРОМ-ДАЛЬНОМЕРОМ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ РАДИОЛОКАТОРОМ

SE COMENTA SE COMENCIA DE LA COMENCIA DE LA COMENTA DE ENTA DE COMENTA DE COMENTA DE COMENTA DE COMENTA DE COMENTA DE COMENTA

Известно, что радиолокационный метод наблюдения за конвективными облаками позволяет по ряду измеренных метеорологическим радиолокатором (МРЛ) параметров, в частности максимальной высоте радиоэха, высоте положения зон с максимальной отражаемостью облака, отражаемости облаков на уровне нулевой изотермы и на уровне, расположенном на 2—2,5 км выше уровня нулевой изотермы, дать некоторую вероятностную оценку состояния облака.

В 60—70-е годы проведены масштабные работы по сопоставлению данных радиолокационных наблюдений и наземных метеорологических станций. В результате выработаны критерии, которые определяют три группы состояния конвективных облаков. Первая группа включает в себя градоопасные и грозовые облака с градом, вторая группа — грозоопасные облака и ливневый дождь с грозой, а в третью группу вошли негрозоопасные облака и ливни [4]. По данным исследований перечисленных выше параметров разработаны радиолокационные критерии грозоопасности, а для фиксации на бланк-картах данных обработки радиолокационных измерений приняты соответствующие обозначения. Когда облако может быть грозовым с вероятностью 30—70 % используется символ (К), с вероятностью 70—90 % — символ К) и не менее 90 % — символ К.

Длительный опыт применения радиолокационных наблюдений с помощью MPЛ в различных физико-географических условиях показал, что величины радиолокационных критериев, в частности грозовой опасности облаков, могут изменяться. Для их уточнения требуются объективные данные наблюдений за грозами. Низкая эффективность наблюдений за грозами метеостанций и постов, выявленная еще в 70-е годы [5], не позволяет объективно оценить состояние облаков на значительных территориях [6]. Один из возможных методов повышения надежности данных о местоположении грозовых очагов основан на совместном исполь-

зовании пассивных систем однопунктовой или многопунктовой пеленгации и метеорологических радиолокаторов. Здесь возможны два сценария. Первый заключается в проведении продолжительных совместных измерений в различных регионах. В результате уточняются имеющиеся критерии грозоопасности. В соответствии со вторым метеорологические радиолокаторы комплектуются однопунктовыми или многопунктовыми пеленгационными системами местоопределения гроз (ПСМГ) и решение о грозоопасности однозначно принимается по данным систем грозопеленгации, а с помощью радиолокатора получают данные о верхней и нижней границах облаков, уровне отражаемости, наличии осадков, их количестве, тенденции перемещения и вероятностной характеристике градовой опасности.

В отечественной практике в 70-е годы [4, 7] имел место опыт стыковки однопунктового грозопеленгатора ПАГ-1 и метеорологических радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. Грозопеленгатор ПАГ-1 предназначен для измерения азимута на частоте 7 кГц. Особое условие работы пеленгатора заключалось в том, что потери информации в зоне 300 км не должны превышать 7%, а с расстояния от 300 до 400 км он должен принимать не более 5% грозовых разрядов. Это достаточно жесткое условие, которое практически никогда не реализуется, так как вероятность обнаружения грозовых разрядов по мере увеличения расстояния уменьшается значительно медленнее [3]. Использование грозопеленгатора ПАГ-1 совместно с МРЛ-1 и МРЛ-2, по мнению разработчиков «Руководства по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2» [4], показало следующее:

- повышается оперативность обнаружения гроз за счет сужения секторов, в которых необходимо вести «более тщательные наблюдения и измерения радиолокационных характеристик облачности»;
- увеличивается надежность распознавания гроз в радиусе 300 км до 15 % по сравнению с результатами, полученными с помощью МРЛ.

Авторы [4, 7] считают, что данные ПАГ-1 более эффективны при расположении гроз на расстоянии более 50 км, и радиоэхо на индикаторе кругового обзора имеет ячеистую структуру. По мнению авторов монографии [7], совместное использование грозопе-

ленгатора с одним ограничителем дальности возможно в следующих случаях:

- облака находятся в радиусе обнаружения МРЛ и за пределами этого радиуса отсутствуют;
- на одном азимуте присутствует одиночный грозовой очаг. К недостаткам ПАГ-1 авторы относят амплитудную селекцию электромагнитного излучения молний на различных расстояниях и наличие только одного ограничителя дальности.

Следующим этапом разработки систем пелентации гроз, предназначенных для стыковки с МРЛ, стал грозопеленгатор-дальномер «Очаг-2П» [2], в котором предусматривалась работа двух дальномеров и узкополосного пеленгатора, аналога ПАГ-1. Широкополосный импульсный ЕН-дальномер, основы которого разработаны И. И. Кононовым [1], обеспечивал работу в зоне до 100 км, а узкополосный амплитудный дальномер — в зоне до 400 км. Были установлены градации оценки расстояния: 0—30, 30—75, 75—200, 200—400 км. Информация о координатах молний выводилась в устройство цифровой обработки и памяти, поступала на индикатор. Практически оператор МРЛ должен был работать с двумя индикаторами — самого МРЛ и грозопеленгатора-дальномера.

Грозопелентатор-дальномер «Очаг-2П» в 80-е годы выпускался промышленностью и в ряде случаев дополнял комплект МРЛ. Низкая автоматизация измерений и практически полное отсутствие в арсенале разработчиков вычислительных средств не позволили развивать это направление. Автоматизация радиолокационных измерений и применение современной вычислительной техники в системах определения координат грозовых очагов и разрядов с начала 90-х годов и значительные наработки по обоим направлениям в последующие годы позволили провести стыковку на программном уровне данных наблюдений за конвективными облаками, в том числе и грозовыми.

В экспериментальных работах по совместным наблюдениям за грозовыми облаками использовались штатный МРЛ-5 и однопунктовый грозопеленгатор-дальномер (ОГПД) с аппаратно-программным обеспечением версии «Alwes 2», базовая модель которого «Alwes 0.1» разработана в начале 90-х годов ООО «Алвес [6] и с 1993 г. используется для оперативных и научно-исследовательских работ в НИЦ ДЗА. ОГПД с аппаратно-программным обес-

печением версии «Alwes 2» укомплектован широкополосным педенгатором, инструментальная погрешность которого не превышает $1-2^\circ$, и двумя дальномерами. Первый, спектральный, дальномер [3] — это дальномер ближней зоны с радиусом действия до 80-100 км. Средняя квадратическая ошибка измерения дальности в зоне до 50-60 км не превышает 3-4 км, далее она возрастает до 8—12 км. Второй, амплитудный, дальномер работает в зоне 200-300 км. Эта модификация ОГПД формирует ячейки 20×20 или 30×30 , 50×50 км либо секторы по азимуту $5-10^{\circ}$ и дальности 20-50 км. В ячейку записывается информация о наличии грозы только в том случае, когда в ней за 15-минутный интервал измерений зарегистрировано более двух грозовых разрядов. Результаты сравнения экспериментальных исследований вероятностных характеристик правильного обнаружения ячеек ОГПД с данными визуальных наблюдений метеостанций и постов, проведенных в середине 90-х годов, приведены в

Таблица 1
Результаты сравнения данных измерений ОГПД
и метеонаблюдений за грозами

grade contracts on	vije, kommentarija i st	Вероятность, %					
Зона Размер регистрации, км ячеек, км		правильного обнаружения гроз в ячейке	ошибки в одну ячейку	ошибки более чем в одну ячейку			
50—100 101—200	7×7 7×7	51 43	18 14	31 43			
201-300	7 ×7	K-18 32 .7 6.1		58			
50—100	15 ×15	14 3 - 3 - 5 - 6 - 6	22	6			
101—200	15×15	63	31 2000 0	6			
201-300	15 ×15		43	50.57 9 0.5			
50—100 101—200	30 ×30 30 ×30	69 81	15 26	4 5			
201—300	30 ×30	53	38	9			

Из таблицы следует, что по мере увеличения размеров ячеек от 7 × 7 до 30 × 30 км возрастает вероятность правильного обнаружения грозовых процессов. Таким образом, в амплитудных версиях ОГПД для расстояний 200—300 км ячейка будет обнаружена с вероятностью 80 %, если ее размеры не менее 30 × 30 км и проводится накопление информации за некоторый интервал наблюдений.

Поскольку размеры горизонтальной части молниевых разрядов, в том числе и разрядов в землю, достигают 5—9 км, а в некоторых случаях 20-25 км [7], то может быть оправданным применение ОГПД для подтверждения грозоопасности облака в зоне, по крайней мере, до 50 км (ближнее штормовое кольцо). Для проверки различных вариантов совместной работы ОГПД и МРЛ с мая по сентябрь 2004 г. в пос. Воейково на базе Научно-исследовательского центра дистанционного зондирования атмосферы (НИП ДЗА, филиал ГГО) были организованы экспериментальные наблюдения. МРЛ-5 оснащен аппаратно-программным обеспечением «Мерком», позволяющим проводить аналогово-цифровую обработку видеосигнала, вычисление основных радиолокационных критериев грозовой опасности конвективных облаков. формировать файлы с данными измерений основных радиолокационных параметров и специальные файлы, содержащие информацию по ячейкам 4×4 км о радиолокационной отражаемости конвективных облаков на уровнях $\lg(z) > -2.4$ за сеанс наблюдений. ОГПД с аппаратно-программным обеспечением «Alwes 2» ежеминутно формирует текстовые файлы, которые по локальной сети транслируются на сервер, куда также переписываются файлы с данными МРЛ-5. На сервере специальная программа версии «Alwes 2.3» объединяет данные измерений МРЛ-5 и ОГПД.

Поскольку период измерений радиолокационной станцией составляет не менее 3—4 мин, в объединенном файле данные ОГПД обобщаются за указанный период измерений. В результате по данным ОГПД можно принимать решение о грозовой опасности облака как по обобщенным данным о координатах грозовых очагов за 3—4-минутный интервал наблюдений, так и по единичным измерениям координат грозовых разрядов. Последние при совпадении с зоной радиоэха записываются в ячейку 4×4 км, которая выделяется контуром красного цвета. В тех случаях, когда координаты грозовых разрядов не совпадают с зоной

радиоэха, на карте местности делаются отметки в виде крестиков красного цвета. В период отсутствия данных МРЛ координаты грозовых разрядов наносятся на карту крестиками черного цвета.

Следует отметить, что на первом этапе эксперимента не предусматривалась предварительная статистическая обработка данных измерений ОГПД. На экран выводилась совместная информация в тех случаях, когда наблюдались единичные случаи пеленгации грозовых разрядов. На первом этапе обработки данных сравнивались координаты конвективных облаков и только данные о направлении на грозовые разряды в радиусе до 200 км, другими словами, использовалась методика обработки данных МРЛ-1 и грозопелентатора ПАГ-1. В качестве информации о дальности грозовых очагов использовались данные о местоположении ячеек с различными уровнями радиолокационной отражаемости. В тех случаях, когда любая из ближайших ячеек с отражаемостью $\lg(z) > -0.6$ совмещалась с единичным пеленгом на грозовой разряд, ее контуры окращивались красным цветом. В противном случае информация о пеленге на грозовой разряд не выводилась, на индикатор, выпаду должно под тех по обесть

Сопоставление данных МРЛ-5 и ОГПП производилось следующим образом. В тех случаях, когда в ячейках 30 × 30 км по данным МРЛ-5 наблюдались грозы с различной вероятностью (на карте были значки грозы К. К) и (К)) и в этих ячейках появлялись ячейки 4×4 км с отметкой грозы по данным ОГПД, считалось, что данные о местоположении грозовых очагов совпадают. Если ячейки 4 × 4 км с отметкой грозы по данным ОГПД, находящиеся в ячейках 30×30 км, не подтверждались отметкой МРЛ о грозе, то считалось, что МРЛ пропустил грозу. В тех случаях, когда в ячейках 30×30 км по данным МРЛ наблюдалась гроза, а ОГПД ее не отмечал, считалось, что МРЛ дает ложные тревоги. Последние два случая можно интерпретировать с другой точки зрения. Если ячейки 4 × 4 км с отметкой трозы по данным ОГПД, находящиеся в ячейках 30×30 км, не подтверждались отметкой МРЛ о грозе, то следовало считать, что ОГПД дает ложную тревогу. Если в ячейках 30 × 30 км по данным МРЛ наблюдалась гроза, а ОГПД ее не отмечал, то следовало считать, что ОГПД дает пропуски. В такой двойной интерпретации рассмотрим предварительные данные совместных измерений МРЛ-5 и пеленгатора ОГПД «Alwes 2» за 19 мая 2004 г. (табл. 2).

Результаты сравнения данных совместных измерений МРЛ-5 и ОГПД (в числителе — число случаев, в знаменателе — проценты)

		ть обнаруж нным МРЛ		Общее число	Доля,	Примеча-	
	30—70 (戊)	70—90 戊)	> 90 X	случаев	%	ние	
Обнаружение гроз МРЛ+ОГПД	74/41	66/36	42/23	182/100	38	Правиль- но обна- ружены грозы	
Обнаружение гроз МРЛ	205/82	46/18	1/<1	252/100	53	Грозы Ложные тревоги МРЛ или	
្រែមហេតុស្គាល់ មួយដែលមានបែប	jan yez yê Lik ji.	RABURUAN KAMBURUA	ga i sawa Magaaliya	er okase zi Kerreniere	līssi Dzijs	пропуски ОГПД	
Обнаружение гроз ОГПД	43/100	e de la calendaria Calendaria Partir de la calendaria	00,75% 513 11,65 7 k ysa 11,77% 54	43/100	9. 24. 24.	Ложные тревоги ОГПЛ	
Englisher F	18 18 . Det 18 3 18 . Anne 18 anne	10.33.23/1011 11.33.23/1011 11.33.24 11.33.24	er Mir j 1. iii ii su j 1. iii ii su j	ggi a b it Gragosino Bi no com	114년 60 yes 2 南河	или про- пуски МРЛ	
Сумма	279/64	112/26	43/10	477/100	100		

Результаты обработки, представленные в табл. 2, показывают, что данные МРЛ о местоположении грозовых очагов с различной вероятностью (30—70, 70—90 и более 90 %) подтверждены данными измерения пеленгов ОГПД только в 38 % случаев. В 53 % случаев МРЛ-5 давал с различной достоверностью отметку о грозе, в то время как ОГПД их не подтверждал, и в 9 % случаев ОГПД отмечал грозу в конвективных облаках, которые по данным МРЛ-5 не были грозовыми.

and course a refer to the course are also the enterior to the

Обратная зависимость наблюдается при сравнении числа обнаруженных МРЛ-5 с различной достоверностью грозовых ячеек и числа случаев подтвержденных пеленгатором ОГПД, Числу грозовых ячеек, обнаруженных МРЛ-5 с большей достоверностью (символ К, вероятность более 90 %), соответствует мень-

тисло случаев (23 %), подтвержденных данными пеленгатора ОГПД. В 41 % случаев пеленгатор ОГПД подтвердил данные МРЛ-5 с меньшей достоверностью. Из тех данных МРЛ-5, которые не подтверждены пеленгатором ОГПД, 82 % случаев приходится на низкую вероятность появления грозы в конвективном облаке. Такое несоответствие возможно при выходе из заданного режима работы МРЛ-5 или в случаях неточного выбора исходных параметров программного обеспечения.

Особенность грозовых процессов 19 мая 2004 г. заключалась в том, что они были достаточно локализованы в зоне до 100 км. Грозовые очаги перемещались со стороны Финского залива к Ладожскому озеру, и по данным наблюдений МРЛ-5 грозовые процессы начались после 14 ч по московскому времени. Первые грозовые разряды пеленгатор ОГПД зафиксировал в 12 ч 52 мин по азимуту 326°. В этот период на удалении 65 км наблюдалось облако с радиолокационной отражаемостью $\lg(z) > 1.2$. Далее облако сместилось в западном направлении, и с 14 ч 24 мин до 14 ч 48 мин в нем пеленгатором ОГПД наблюдались грозовые разряды по азимутам 3 и 250—269°. В 14 ч 24 мин ячейки с отражаемостью $\lg(z) > 0.6$ и $\lg(z) > 1.4$ наблюдались МРЛ-5 на удалениях 81 и 47 км по секторам от 333 до 18° и от 267 до 273°. Только в следующий сеанс, в 14 ч 48 мин, МРЛ-5 зафиксировал конвективные облака с прогнозируемой вероятностью идентификации как грозовые 30-70 % в направлениях 266 и 335° на удалении 81 и 42 км, а также с вероятностью 70-90 % в направлениях 274 и 214° на удалении 63 и 88 км соответственно.

Аналогичные данные получены и для других дней с грозами. От грозы к грозе наблюдается некоторое увеличение совместного обнаружения МРЛ и пеленгатором ОГПД грозовых очагов и уменьшение числа грозовых очагов, обнаруженных только МРЛ. Определенную сложность при сравнении данных измерений представляют геометрические размеры ячеек. Если пеленгатор ОГПД и МРЛ-5 записывают информацию в ячейку 4×4 км в случаях, когда ячейки определены некоторой радиолокационной отражаемостью, то программное обеспечение МРЛ-5 при появлении грозоопасных конвективных облаков выделяет ячейку 30×30 км, а если грозоопасное конвективное облако покрывает две и более ячеек, то и им присваивается аналогичная степень опасности. В результате число ячеек возрастает, что и приводит

к некорректности сравнения показаний пеленгатора ОГПД и МРЛ-5. По крайней мере, в два раза уменьшается число случаев неподтвержденных пеленгатором ОГПД ячеек 30×30 км, которые выделены как грозовые программным обеспечением МРЛ-5. Сравнение данных за 2004 г. показывает, что грозовые облака в зоне до 100 км МРЛ-5 обнаруживает на 10—20 мин позже, чем пеленгатор ОГПД, программно совмещенный с МРЛ-5.

Учет показаний амплитудного дальномера ОГПД также позволяет на 10—15 % уменьшить число неподтвержденных случаев обнаружения грозовых очагов МРЛ-5. Это обусловлено тем, что при прохождении нескольких грозовых ячеек по одному азимуту, но на различных расстояниях пеленгатор ОГПД, совмещенный с МРЛ, делает отметку о наличии грозы на ближайшей ячейке размером 4×4 км, в то время как вторая по дальности остается в тени и не получает подтверждения пеленгатора. Поскольку погрешность измерения дальности амплитудных дальномеров велика, возможны случаи неправильной интерпретации данных совместных наблюдений. В этом плане представляет особый интерес сравнение данных МРЛ-5 с результатами измерений координат молниевых разрядов более высокоточными средствами в зоне до 100 км с помощью спектрального дальномера и пеленгационной системой местоопределения грозовых разрядов.

Сравнение данных наблюдений МРЛ и спектрального дальномера в составе ОГПД в зоне до 50—60 км показало, что более 70 % конвективных ячеек, обнаруженных МРЛ-5 и идентифицируемых с разной вероятностью как грозовые, подтверждены данными спектрального дальномера и пеленгатора ОГПД, в 10—15 % случаев МРЛ-5 не отмечал грозу. В зоне до 100 км ПСМГ подтвердила почти в 50 % случаев данные МРЛ-5 и обнаружила около 10 % пропусков зон грозовой активности, а в остальных случаях данные МРЛ не нашли подтверждения. Территориально ПСМГ развернута на некотором удалении от места проведения эксперимента, и этим можно объяснить снижение вероятности обнаружения грозовых очагов.

Приведенные в работе данные показывают некоторое увеличение достоверности информации о грозах, полученной МРЛ-5 совместно с ОГПД и ПСМГ в зоне до 100 км. Однако имеют место случаи неоднозначной интерпретации результатов совместных измерений. Требуется проведение дальнейших исследований как

алгоритмов систем пеленгации грозовых разрядов, обработки данных радиолокационных измерений, так и способов интерпретации данных измерений ОГПД, ПСМГ и МРЛ.

o enne la composition de la composition Chinon de composition de la compositio

- 1. Бару Н. В., Кононов И. И., Соломоник М. Е. Радиопеленгаторы-дальномеры ближних гроз. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 143 с.
- 2. Гальперин С. М. и др. Грозопелентатор-дальномер «Очаг-2П». Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 60 с.
- 3. Кононов И. И., Петренко И. А., Снегуров В. С. Радиотехнические методы местоопределения грозовых очагов. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 222 с.
- 4. Руководство по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 334 с.
- 5. Сальман Е. М., Дивинская Б. Ш. Вопросы метеорологической эффективности радиолокационных систем наблюдения за облачностью и опасными явлениями погоды. Труды ГГО, 1971, вып. 261, с. 92—107.
- 6. Снегуров В. С. Концепция сети пеленгации гроз. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 1997, вып. 1(546), с. 92—104.
- 7. Степаненко В. Д., Гальперин С. М. Радиотехнические методы исследования гроз. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 204 с.

La contration of the contract
CONTROL CONTROL OF THE CONTROL OF TH

ANDERS SE TOMORIA VICE PER COMO DE LA COMENCIA DE LA CARTA LA CART

ulan eriya da ularek den dikarikan en de Talla birka 1974 ilik

К МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ ФОРМ БЛИЗКИХ АТМОСФЕРИКОВ

Интенсивное развитие в конце 80-х — начале 90-х годов аппаратно-программного обеспечения цифровой обработки сигналов, появление быстродействующих аналого-цифровых преобразователей со встроенной памятью и персональных компьютеров позволили в реальном времени проводить оцифровку волновых форм электромагнитного излучения (ЭМИ) молний в микро- и наносекундном диапазоне. Это способствовало продолжению начатых еще в 60-70-е годы в Институте земного магнетизма и распространения радиоволн Академии наук (ИЗМИРАН), Главной геофизической обсерватории (ГГО) им. А. И. Воейкова и ЛГУ [1-5] исследований параметров ЭМИ молниевых разрядов (МР), их временных форм и спектральных составляющих в диапазоне частот от единиц до десятков килогерц. Исследования таких параметров с практической точки зрения интересны тем, что можно подробно и на больших массивах данных изучать вариации амплитудных и фазовых параметров ЭМИ, определять соотношения полезного сигнала и естественного электромагнитного поля в указанном диапазоне частот, оценивать влияние атмосферных шумов на различные алгоритмы измерения дальности и пеленга.

Для регистрации волновых форм ЭМИ молний разработан и построен измерительный комплекс аппаратуры, включающий в себя антенно-фидерную систему, блок аналоговой обработки сигналов, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) со встроенной памятью и персональный компьютер (ПК). Комплекс обеспечивает непрерывную регистрацию электрической E_z и двух магнитных H_x и H_y составляющих ЭМИ. Интервал дискретизации в зависимости от решаемой задачи устанавливается от двух до нескольких десятков микросекунд. Запись информации в память АЦП осуществляется синхронизирующим импульсом порогового устройства, связанного с передним фронтом электрической составляющей ЭМИ. Этим же импульсом выполняется команда записи в память АЦП текущего времени. Источником времени могут служить внутренние часы ПК или любой внешний источник

сигналов точного времени. Для синхронизации измерений в территориально разнесенных пунктах используются эталонные сигналы времени на частотах 4996 и 9996 кГц радиостанции РВМ. Сигналы принимаются приемником Ч7-13, который после их соответствующей обработки синхронизирует компаратор Ч7-15.

Коды точного времени через парадлельный порт поступают в АЦП. Для записи неискаженной формы сигналов ЭМИ молний используются встроенные в АЩП элементы памяти, где с момента прихода синхронизирующего импульса хранится информация о параметрах сигналов по трем измерительным каналам, включая и предшествующий синхроимпульсу интервал измерений. Далее опифрованные данные по трем составляющим ЭМИ и точное время переписываются на жесткий диск. Таким образом, формируется файл, содержащий исходную цифровую информацию о временном распределении амплитуд сигналов ЭМИ молниевых разрядов. В свободное от записи с АЩП время ПК проводит вычисления, например, направления на грозовые разряды и/или расстояния до грозовых разрядов по заданным алгоритмам. Полученная информация записывается на монитор и на жесткий an equal of the transmethology and the second лиск.

Этот комплекс измерительной аппаратуры положен в основу первой версии однопунктового грозопеленгатора-дальномера (ОГПД) «Alwes 01» [6]. В 1993 г. два комплекта ОГПД были установлены на базе ГГО (с 1994 г. Научно-исследовательский центр дистанционного зондирования атмосферы (НИЦ ДЗА), филиал ГГО) и на АМСГ аэропорта г. Великого Новгорода. Они были сопряжены с комплексами для синхронной регистрации ЭМИ молний в двух пунктах.

Различие между измерительным комплексом и ОГПД состоит в наборе специальных программ, которые позволяют в любое время проводить обработку исходных файлов, содержащих информацию в цифровом виде.

В настоящее время разработчики практически отказались от использования в пеленгации грозовых разрядов узкополосных методов. Считается, что если измерение амплитуд магнитных H_x и H_y составляющих ЭМИ молниевых разрядов, по которым вычисляется пеленг, производится в первые 8-10 мкс на переднем фронте сигналов, то в этот момент длина канала разряда в

землю достигает высоты нескольких сотен метров. Канал на таких высотах имеет значительную вертикальную составляющую. Следовательно, поляризационная ошибка измерения пеленга, обусловленная влиянием пространственной ориентации молниевых разрядов, минимальна. По мере увеличения времени протекания грозового разряда канал начинает ветвиться и, как известно (см. работу [7]), он может иметь значительную (до 5—9 км) горизонтальную часть. В ряде случаев у молний в землю горизонтальная часть достигает 20—25 км. Следовательно, амплитуды сигналов, измеренные в других точках волновых форм магнитных составляющих, должны быть искажены влиянием горизонтальных частей канала молнии.

Мы попытались проследить, как изменяются значения амплитуды E_z , модуля отношения E_z и суммарной H_{xy} составляющих, пеленги и их разности для соседних отсчетов при измерениях в различных точках волновых форм E_z , H_x и H_y составляющих ЭМИ молний. Обработка исходных файлов производилась следующим образом. Программа обработчик формирует текстовый файл, в котором записываются дата, текущее время, максимальные значения амплитуд E_z , H_x или H_y составляющих ЭМИ молний. Для наибольшего значения H_x или H_y записывается по данному номеру отсчета амплитуда H_y или H_x составляющих магнитного поля. По этим значениям вычисляются отношения амплитуд E_z и H_{xy} составляющих излучения и пеленги.

В программе предусмотрен вывод информации по пятй отсчетам до максимальных значений электрической и одной из магнитных составляющих ЭМИ. Шестой отсчет соответствует максимуму электрической E_z и максимуму одной из магнитных (H_x или H_y) составляющих поля. Выбор одного из максимумов H_x или H_y составляющих магнитного поля обусловлен их зависимостью от направления на источник излучения. Далее программа может вывести в текстовый файл данные практически по любому заданному числу точек отсчетов. Длина записи формы сигнала устанавливается до начала регистрации гроз. В наших экспериментах она составляла 1400 и 2800 мкс. Высокая разрешающая способность комплекса обеспечивала регистрацию форм сигналов ЭМИ молний с интервалом менее 10 мс.

Ниже приведены результаты обработки почти 32 000 волновых форм ЭМИ молний. По рассмотренной выше методике из

in core 🖁 wergen, iteans un ago	140	TLC.	ROBE ELECTRIC TESTEROR ETTERES
- Angles and Salar Sala	: 0		ar olygografia accient it. Aborem accie.
Таблица 5 1, 11 Таблица	r	v. 3	
	usa tu		Sherr review of the secretary and
	(1) A	01	0 10
The second secon		7	H O
The second of Principle 18 of Principle 18 of 18	1	1	
- Sight Office of Signature of Signature	, A	6	0,36 0,38 0,18
Паменение средних значений и СКО отношения амплитул электрической и матиитной составляющих ЭМИ молний 1,1 1,1 1,1 1,0 0,9 1,0 1,4 1,1 1,5 1,6 1,7 1,4 1,1 0,5 0,6 1,2 1, Коэффициенты коррелящий между значениями отношения амплити электрической и матиитных составляющих ЭМИ молний	30		್ ಎಟ್ಟ್ಟ್ ಸ್ಟ್ ಆರ್ಫ್ಟ್ ಕೊಡ್ಡು ಎಟ್ಟ್ ಕ್ರಾಮ್ ಕ್ರಿಮ್
CONTROL STATE OF THE STATE OF T	1.30		. 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1
- 2000 - 1 0 - 200 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 -		œ	Theore is is the master of the control of the contr
I m	52.	i. 1	a crana a la coma a la Galeccia.
значений и СКО отношения амплитититити (составляющих ЭМИ молнитити) (составляющих ЭМИ молнити (составляющих ЭМИ молнитити (составляющих ЭМИ молнитититити (составляющих ЭМИ молнити (составляющих ЭМИ молнити (составляющих (сост	ly.	37	CENTRALE ELECTRONISTIC OF BEWELL
		1 -	0,41 0,18 0,18 0,18
	*: *:	27	0,000
их значений и СКО отноши магнитной составляющих 3 4 5 6 6 1,0 1,4 1,1 0,5 1,7 1,4 1,1 0,5 ядии между значениями о магнитных составляющих		lak.	
	Отсчет	1 .	
	To	9	0,40 0,81 0,81 0,81
	0		mpaka prospiration trad
		1.3. E	9 9 9 9 8 4 4
		جيد.	0, 0, 59 0, 23 0, 23 0, 24 0, 24
en all de de de de de de la companie	WI	F-,50	
angr igat irang <mark>Pagagang Pili</mark> a		176	विभिन्न विभिन्न का जुल्ला प्रस्त वर विस्तरित
THE BOST STATE OF THE STATE OF		4	0, 100 0, 44, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 0
	a.a		
Изменение средних значений и СКО отношения амплитул электрической и магнитной составляющих ЭМИ молний 1,1 1,1 1,0 0,9 1,0 1,4 1,1 1,5 1,5 1,6 1,7 1,4 1,F 0,5 0,6 1,2 фициенты корреляции между значениями отношения амт		33	
		SE_/	ं वं वं के छे छे छे छे छे
, 6 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1		က	0,41 0,46 0,46 0,81 0,25 0,21 0,16
ламенение средии электрической и 1 2 1,1 1,1 1,1 1,5 1,6 1,6 1,9 ициенты коррел электрической и			
			047070087007
2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	10.0	2	1,00 0,44 0,44 0,37 0,22 0,12 0,12
13. 15. 15. 15. 15. 15. 15. 15. 15. 15. 15		a.a. C	
	- 3		
- and on the place professional g et a	13	5H	1,00 0,45 0,36 0,29 0,29 0,29 0,21 0,12
ADE LAS 문화 를 보는 하는데 4이 (이 🗳 Life)	Y81		
o o ne esta esta esta esta esta esta esta est	5	264	A PROPERTY OF A PARTY SECURITION OF A PARTY
୍ର ହେଲା ଅଞ୍ଚଳ ହ <mark>ର୍ଷ</mark> ଅଧିକ । ଏହି ଅବସ୍ଥା ପିଥିଲି			er folgstyrk am kommer i form in 190 generath ginar
o estre supei e L iudija estude gadulares	193	Отсчет	வே ஆட்டு வது நடித்து விற்று வூட் தனத்
Параметр Субер Су		ည်	$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 8 & 4 & 6 & 6 & 7 & 1 \\ 2 & 8 & 4 & 6 & 7 & 2 \end{bmatrix}$
	(ر ر	structure and the same and the
Параме: Среднее Ско.			AST Service and BOSCO per A model
r our de la principa de la companya			
* * * * * * * * * * * * * * * * * * * *			

каждой волновой формы делается выборка значений электрической и магнитных составляющих по 11 точкам (пять до максимального значения, максимальное значение и пять после). Далее
по каждой точке вычисляются значения отношения амплитуд
электрической и магнитных составляющих поля и пеленги. Для
того чтобы исключить влияние на магнитные составляющие
поля направления на источник излучения, вычисляются разности пеленгов для соседних отсчетов (точек). В результате получены распределения измеренных и вычисленных значений, которые представлены в табл. 1—7.

Из табл. 1 и 2 следует, что среднее значение отношения амнлитуд электрической и магнитных составляющих изменяется в два раза (от 0,9 до 1,8) и минимум приходится на 4-й отсчет. Среднее квадратическое отклонение (СКО) изменяется более чем в нять раз и минимум приходится на 6-й отсчет, которому соответствует максимум одной из магнитных составляющих — H_x или H_y . Коэффициент корреляции (см. табл. 2) максимален (0,66) между отношениями амплитуд электрической и магнитной составляющих ЭМИ молний на 6-м и 7-м отсчетах.

Среднее значение электрической составляющей излучения молний (см. табл. 3) максимально (по условию обработки сигналов) на 6-м отсчете, ему соответствует и максимальное значение СКО. В отличие от предыдущего параметра коэффициенты корреляции между соседними отсчетами (см. табл. 4) значительно выше (от 0,78 до 0,95) и максимум приходится на 7—8-й и 8—9-й отсчеты.

Наиболее интересными с точки зрения пеленгации являются изменения средних значений пеленга и СКО. Из табл. 5 следует, что средние значения пеленгов на первых трех отсчетах (на переднем фронте сигнала ЭМИ молний) различаются не более чем на 1,4°; далее, на 4-м отсчете, различие увеличивается почти на 6°, а на 5-м отсчете — до 16°. На 6-м отсчете, при максимальных значениях амплитуд поля, различие уменьшается до 6°. На заднем фронте сигнала средние значения пеленгов уменьшаются до 125° и затем возрастают до 187,7°. СКО (см. табл. 6) меняется сложным образом — от 90,4° на 8-м отсчете до 105,3° на 4-м отсчете. Коэффициенты корреляции между соседними отсчетами пеленгов максимальны между 6—7-м, 7—8-м и 8—9-м отсчетами.

C	c
1	3
- 3	-3
1	3
Ú	ദ്
3	3
E	4

٠.	. '	
:	ощей ЭМИ молний	
ú,	S	75
	Ξ	
÷	콧	ž '
¥	ä	75
-	=	5 -5
	z	٠,٠
i i	S	
1	F	;
- :	×	٠,٠
	ä	• `
1	릇	į.
	ă	
	5	
	å	
- 2	র	
	H	
	ă	- 1
J.	ŏ	٠.,
	K COCTABJ	-
٠.	5	
	×	
	ä	
	ĕ	
	ž	
		•
- 0	Ç	37
	5	
9	Ħ	
	O	
	к значений и СКО амплитуп электрической	
	2	٠,
	Ξ	•
	Ę	
	Ħ	
	Σ	
	æ	
୍ଦ	٥	
- 1	2	
1	ರ	1
		: 5
:	Ξ	
	17	
	5	
	Ē	
,	₫	2
	景	
	ં	i
	предних зн	
	S	G.
	E	À
	Ō,	. :
٠,	믕	١,
	_	3.
	пенение с	Ġ
	£	
	5	÷,
	톳	
4);	2	

W.

Параметр/отсчет.

Коэффициенты корреляции между значениями амплитуд электрической составляющей ЭМИ молний

. 1		200	200			2 4 .				·			1.7
			47° (4°)	- 1/2	Jane 11		7,3		15 17		era.	ing in	2
	2.75	Ŧ	*	* - g 2 	\$11 \$5 	elish e Anno					3.87	1 4	<u>ت</u>
			276	1 1	. 33			A.A.I. 2	31,391	2.05	. 1		• = = =
	r.j			1. \$ 1.7	. 2.3.	J		\$ J. P	9."		1 1	0	4
	130	10	93.		Vizi		Tried.	15.	į, . · .	100	FF.	1,0	3,0
	35.	5.5	4 (1)	S *	- 4	- 155	2014	in a		<u> </u>		- 1	ंे
			335. I		177		\$ D	1			8	8	Ξ.
	A	0		. · .	1 Arm	- pink	Ş OŞ	1		11.	1,0	3,0	0
	ે છે.	31 :	(XHE)	(110	्रभा	<i>\$ (</i> 1)				53.00	200	0.00	13.3
ļ		-		4	W.X.	2 7 1	V. i s	political file	Mas I	8	7	<u> </u>	2.2
	35,50	œ	234	- ,4%	w Life	1731	y N	. 35	8	0,1	0,94	0,71	0,2
	S. 500	35	2-1 (5.1	1130F	1 //	1:0	All the		13.	Š£∧j:	.d. X	973	
-	7.0	4.643	(B)	h 39	1.5	, Å	\$ P. N	A.v	2	0,95	က္သ	ω	4
	3.1	7	1775	HI	y **;+;	. P	÷,518	233	1,00	ိ	0,83	0,56	0,1
		• •	11.1			3 <u>, , </u>	-74	12.12	e/, ?			F 1: 12	<u> </u>
	Tel		1,00	. Ale	47.0	٠. :		0	œ	ੁ	<u></u>	7	25
	тсчет	9		/ 023	wit.	. 95	.3/72	1,00	္တိ	್ಟ್	8,	0,72	0,3
	ပ		13			<u> </u>	: No	9.7.5				7.	
	4. 0		74.7		2.9.		Ō,	œ	Ø	တ	4	∞ .	2
	2.1	, rC	F\$ 11	71 E P	. 3	1,-	1,0	0,7	0,0	0,7	9,0	0,38	0,0
4		- / -	1	8. JA	100				<u> </u>	<u> </u>	\$ Fo		. 5
30.00	ÇØ.	S-11	351	£150	e 5.	0	∞ .	∞	6	4	0	0	90
	A 7	4	84 D.E	* 7.	u gran	1,0	8,	0,5	9		0,40	0,2	-0,06
	Tak.	. 5 🐷	:".	17:	251	-1.79	er.	- 1	r Ty	-1-6	فأعث	4.	
	×13	G. S.		2.7	0	πŏ	2	တ္	4	တ္	4	0	5
1		က			1,0	8,0	9,0	0	9,	ું	5	0,12	o,
	, i.	4.4	:51	1. 3.	55	<u> </u>	- [11	<u> 18.</u>		<u> </u>	خث	<u> 17 7 7</u>	
Ì	: 33	Y	1.5	Q:	ŭ	Ŋ	S.	o,	Ξ	_	က	-	9
		2	90	1	0,82	0,5	ું.	0,1	0,5	0,1	0,13	0,	0,0
		3,7		<u> </u>	161	<u> </u>		<u></u>	***.*	,	2177	<u></u>	3,17
		17:	0	8	ထွ	Ö	ro	6	0	2	2	<u></u>	8
	1.11	-	1,0	0,88	o,55	, E	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0) (0,0
			374.		. -				- 4	,		<u> </u>	2.7
١			an	- 21	t	A G	13-4				33.4		~ /A
		Le		4.65			\$5.	937	أخلال	5	ų s.	. <u></u>	
	<i>1</i> 0	To.	Η.	2	က	4	10	9	!~	, 00	G.	10	
.]	()	2.5	15.1	. 4.	in Sinta	May 12	At . T		1440	e. Nive	i Gr	, j.
	17					5.5	ari arij			: A.S.	e est 10ak		
٠													

٦.	ų
ζ	3
;	Š
7	3
F	\$
ĸ	٥
٢,	3
E	4
,	

Среднее	Параметр/отсчет.	7	က	4	5.	<u>.</u>	∞	6
	Среднее	139,2 1	40,1	184,7	124,7 134,	7 125,3	125,1	138,4 16
	ско	96,7	02,6	105,3	.96 7.66	2 94,0	90,4	94,3

сенты корреляции между значениями пеленгов

7) (C)	1	enter En ten	1985. s 1981. se	arena Are	eria, i	· · · · · · ·	885 PS	3.6·Y	r Si		1,00
	10			1			600 N	 	M)	1,00	0,32
ħ.	် တ	C, IT	<u>.</u>	i d	Û				1,00	0,51	0,14
17 15 3	œ	Turbis Pri yé pastisa	38.61 7 - A. - 3.,	ভারুক উদার হসা ও	. 11 % . 11 % \$19 %		57.55 1872). 1871.	1,00	0,73	0,44	0,17
	۴			- 35-V - 355 - 35-	-3.3 -3.3 8.35	7. 60 178 1847)	1,00	0,77	0,64	0,36	0,11
Отсчет	9) . C # 24:	Albe Orta Britis	rida Amer Ameri	7 . a 1 . au 10.674	1,00	98,0	0,68	0,64	0,35	0,01
	ro	នាបែក ១៩១- ១ <u>១</u> -១	.: .: : ** 0.0 * <u> 0.44</u> .	storsk Tudios <u>202</u> 8	1,00	0,56	99,0	0,62	0,52	0,28	0,05
	4	wan n wang wang		1,00	0,48	0,37	0,45	0,44	0,35	0,14	0,02
	က	jude. Postale Bolisti	0	0,31	0,29	0,22	0,30	0,31	0,23	60,0	0,07
	2	ra 1 ili	1,00 2,00	0,20	0,18	0,13	0,19	0,21	0,17	0,10	0,10
	Ţ	1,00	0,25	0,15	0,15	0,12	0,18	0,20	0,16	0,12	0,11
Omorrom	O10461		7 1 00	. 4	വ	ဖွ	2	«	0	10	

Изменение средних значений и СКО разности пеленгов для соседних отсчетов

Параметр/отсчет					
Среднее					
ско	67,3 70,2	71,2 62,4 44,7	24,4	21,629,938,6	43,1

Если сравнивать средние значения разностей пеленгов на соседних отсчетах (см. табл. 7), то для абсолютных значений можно отметить, что они меняются от 0,2 до 7,2°. СКО минимально для разности пеленгов на 7—8-м отсчетах и составляет 21,6°. Максимальные значения СКО характерны для первых трех разностей и приходятся на передний фронт сигналов ЭМИ молний.

Таким образом, из табл. 7 следует, что на переднем фронте первой полуволны сигналов ЭМИ молний наблюдаются более значительные вариации пеленгов, чем на заднем фронте. Это можно объяснить сравнительно малыми средними значениями амплитуд и СКО амплитуд электрической и магнитных составляющих ЭМИ молниевых разрядов. Из табл. 3 следует, что на переднем фронте (первые пять отсчетов) средняя амплитуда электрической составляющей поля изменяется от 0,4 до 27,4, а на заднем фронте (6—11-й отсчеты) — от 53,5 до 10,7. Следовательно, соотношение сигнал/шум на заднем фронте сигналов в 2—10 раз выше, чем на переднем. Этим объясняется более высокая корреляция средних значений амплитуд электрической составляющей поля (табл. 4) и сравнительно высокие средние значения отношения амплитуд электрической и магнитной составляющих ЭМИ молний и СКО на заднем фронте сигналов (отсчеты 6—11) (табл. 1).

В этой связи возникают вопросы относительно выбора рабочей точки, где производятся измерения амплитуд поля (максимальная амплитуда сигнала, один, два или три отсчета до наступления максимума), чувствительности, радиуса действия пеленгатора и т. д., с тем чтобы обеспечить максимальное соотношение сигнал/шум и минимальную погрешность измерения пеленга.

список литературы

- 1. Альперт Я. Д. Ораспространении электромагнитных волн низкой частоты над земной поверхностью. М.: Изд. АН СССР, 1955. 112 с.
- 2. Альперт Я. Л. и др. Расчеты амплитуды поля и фазовой скорости низкочастотных волн в приземном сферическом волноводе. — Геомагнетизм и аэрономия, 1972, т. 12, № 6, с. 1020—1026.
- 3. Забавина И. Н., Штенников Ю. В. Формирование и распространение дневных атмосфериков на расстояниях до 500 км. Геомагнетизм и аэрономия, 1974, т. 14, № 6, с. 1035—1039.
- 4. Иньков Б. К. Фазовые методы определения расстояния до очагов атмосфериков. Труды ГТО,1973, вып. 319. 135 с.
- 5. Кононов И. И., Петренко И. А., Снегуров В. С. Радиотехнические методы местоопределения грозовых очагов. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 222 с. 200 г. 222 с. 222 с. 222 с. 222 с. 223 г. 224 г. 224 г. 225 г. 225 г. 225 г. 225 г. 225 г. 226 г. 226 г. 226 г. 226 г. 226 г. 227 г. 227 г. 227 г. 228 г. —
- 6. Снегуров В. С. Концепция сети пеленгации гроз. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 1997, вып. 1(546), с. 92—104.

следования гроз. — Л.: Гидрометеоиздат, 1983. — 204 с.

7. Степаненко В. Д., Гальперин С. М. Радиотехнические методы ис-

entro en engla nissi was a line eropa en la meli yn e a na zaled lo la egan esalebella. ra results to the file of the first profession to a court that the -Artista in the control of the contr -เอา. กระบางสาย และ พุทศ และจากระบายของการสายและเรียบไปชาติ เกี่ยวสายสายต่อง ระบารีสายสาย Committee and the Committee Committee and the committee of the committee o e de la company de la comp recognise and contraction of the i en en propieto de la compresión de la miscologia de la compresión de la general de la compresión de la compre ka kongressor sa tambo a a kikin aya ako tija. Kibarra palang Alimako ay ya tin A CONTRACTOR CONTRACTOR OF CONTRACTOR CONTRA อง การ การทำวัด และเกิดสาราช เดิด การทำวัด สุดสาราช เดิดการ การ เดิดสาราช เกาะสาราช เกาะสาราช una fina a reação do tina e obligação a registrações para a registra a perior a registra a registra a registra ने प्रकार प्रकार के प्रकार है है। के प्रकार का लेक के प्रकार के प्रकार के प्रकार के प्रकार के प्रकार के प्रकार i dageraj, kuadas ied eraen i gelie ieu ili jedelikoopi ili Genzeleksi ili ee ili oodeleks karga ja karga in kelb างทางการตั้งหลายทางและดูล (ของการตัว (คราวที่มูลการตั้งสามารถตัวการทาง อย่ายสดงสมาคุณ **แดย**ส ROBER DE PROPERTE DE MARCHE MARCHE DE LA SERVICIO DE MARCHE PORTER AL SERVICIO EN LA CARRENTE DE CARRENTE DE LA CARRENTE DE LA CARRENTE DE LA CARRENTE DE LA CARRENTE DEL CARRENTE DE LA CARRENTE DEL CARRENTE DE LA CARRENTE DE LA CARRENTE DEL CARRENTE DE LA CARR Paris, incluye one execujantes de la calega securi Coloniani include e ficigly de la gree en THE LIGHT OF THE WAR TO BE ARTOLD WITH A SECUNDING METERS AND THE TOTAL OF THE ASSESSED. . Produce i kariji dava bila di di di producio di bila si ini produci di akan digila i maratsa giri di din di on was the trade the general as wood seek begin begin je telebar of fill lætte blade ji alle 1980 by บาง เหตุสมาราช (เพียงการสามารถการ (ค.ศ.พ.) เป็น สามารถการ การแบบ หมู่แ**ย่งดู**ตั้ง **สมมา**กส

AND ENGINEER CONTRACTOR OF THE CONTRACTOR OF THE SECOND OF

ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО АКТИВНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ НА ТУМАН КРИСТАЛЛИЗУЮЩИМ РЕАГЕНТОМ

Введение

turn bassyu is rens ili. Li delisabe eksterik

Несмотря на многочисленные исследовательские и оперативные работы во многих странах мира по рассеиванию теплых и переохлажденных туманов и низких слоистообразных облаков, проблема усовершенствования существующих и разработки новых методов и средств активного воздействия на облака и туманы остается актуальной [2, 5, 7—13].

Одним из распространенных методов активного воздействия (AB) на переохлажденные туманы является засев их кристаллизующими реагентами. В работах [5, 7, 8, 10—13] было проведено численное моделирование различных аспектов таких воздействий самолетными и наземными средствами, в ряде случаев получены согласующиеся с данными наблюдений результаты.

Модель, предложенная в работе [8], является трехмерной нестационарной. В ней рассчитывались: поля скорости ветра и турбулентности, микрофизические процессы на основе кинетических уравнений для функций распределения капель и кристаллов по размерам, уравнение для пересыщения, радиационный теплообмен, теплообмен с подстилающей поверхностью; использовались соответствующие начальные и граничные условия. Поскольку технические средства воздействия позволяли обеспечить большие дозировки реагента, однородный по вертикали засев и быструю прокладку нескольких линий, то авторами исследовались возможность рассеяния мощных облаков и взаимодействие нескольких линий засева при наличии неоднородностей по высоте ветра и турбулентности. Проведено моделирование формирования зон кристаллизации и просвета при засеве с самолета облаков и туманов при различной их мощности, температуре, дозировках реагента. Показано, что при взаимодействии пяти линий засева формирование сплошной зоны улучшенной видимости происходит за 30-40 мин, максимум метеорологической дальности видимости (МДВ) достигается между плоскостями засева, а вблизи плоскостей МДВ уменьшается за счет замутняющего действия кристаллической дымки. В течение 20—60 мин после засева облаков МДВ у земли может уменьшиться до 1—2 км вследствие замутнения выпадающими осадками, а затем вновь увеличивается по мере выпадения кристаллов.

В работах [7, 13] моделировалось AB на переохлажденные туманы наземными пропановыми установками. Радиус искусственных кристаллов принимался равным 10 мкм, концентрация варьировала в пределах $2 \cdot 10^3 - 7 \cdot 10^4 \, \text{л}^{-1}$, учитывались метеоусловия и расположение установок. Представленная модель позволяет рассчитать развитие зоны кристаллизации. При этом полученные результаты находились в согласии с данными наблюдений [4].

Анализ результатов моделирования [5, 7, 8, 10—13] показывает, что при рассмотренных авторами условиях просветление достигается через значительное время (десятки минут). Представляет интерес численная оценка условий более быстрого рассеяния тумана.

Целью настоящей работы являлось проведение детальных расчетов по оценке времени наступления просветления тумана при активном воздействии на него искусственными ледяными частицами (кристаллизующим реагентом). При этом контрольными величинами служили радиус r_n , до которого вырастают ледяные частицы за время t, и метеорологическая дальность видимости L, которая установится в итоге.

Краткое описание численной модели

Остановимся на численной модели, которая использовалась для исследования эволюции микроструктуры тумана при активном воздействии.

Для выполнения расчетов была адаптирована модель, приведенная в работах [1, 6]. Модель описывает процессы диффузионного роста частиц, коагуляции, аккреции, осаждения частиц в поле силы тяжести, а также их перенос воздушными потоками. Поле ветра считается заданным и не изменяется со временем. Уравнения для функций распределения по массам капель $f_1(x,z,m,t)$ и ледяных частиц $f_2(x,z,m,t)$ имеют следующий вид:

$$\frac{\partial f_1}{\partial t} + V_x \frac{\partial f_1}{\partial x} + (V_z - V_1) \frac{\partial f_1}{\partial z} = \left[\frac{\partial f_1}{\partial t} \right]_{k} + \left[\frac{\partial f_1}{\partial t} \right]_{a} + \left[\frac{\partial f_1}{\partial t} \right]_{\pi} + \left[\frac{\partial f_1}{\partial t} \right]_{a} + \left[\frac{\partial f_1}{\partial t} \right]_{\pi} + \left[\frac$$

$$+\frac{\partial}{\partial x}K\frac{\partial f_1}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial z}K\frac{\partial f_1}{\partial z}+I_1,$$
(1)

$$\frac{\partial f_2}{\partial t} + V_x \frac{\partial f_2}{\partial x} + (V_z - V_2) \frac{\partial f_2}{\partial z} = \left[\frac{\partial f_2}{\partial t} \right]_a + \left[\frac{\partial f_2}{\partial t} \right]_a + \left[\frac{\partial f_2}{\partial t} \right]_a$$

$$+\frac{\partial}{\partial x}K\frac{\partial f_2}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial z}K\frac{\partial f_2}{\partial z}+I_2+u,$$

$$+u_1$$

$$+u_2$$

$$+u_3$$

$$+u_4$$

где L_x , L_z — верхние значения границ пространственной области; $V_x(x,z)$ и $V_z(x,z)$ — составляющие вектора скорости воздушных потоков по осям Ox и Oz; $V_1(m)$, $V_2(m)$ — установившиеся скорости падения жидких и твердых частиц; K(x,z) — коэффициент турбулентной диффузии.

Для описания коагуляционных процессов в облаке применялось интегродифференциальное уравнение:

$$\left[\frac{\partial f}{\partial t}\right]_{\mathbf{R}} = -f_1(x,z,m,t) \int_0^\infty \beta_1(m,m') f_1(x,z,m',t) dm' +$$

·这个智能。这都是这碰撞要多数,这些人会是个强性的是比较的工作。

$$m/2$$

$$m/2$$

$$+\int f_1(x,z,m-m',t)\beta_1(m,m-m')f_1(x,z,m',t)dm',$$

$$0$$

$$\beta_1(m,m') = \pi(r(m) + r(m'))^2 |V_1(m) - V_1(m')| E(m,m'), \tag{3}$$

где r(m) и r(m') — радиусы сталкивающихся частиц, $V_1(m)$ и $V_1(m')$ — их скорости падения, а E(m,m') — коэффициент захвата.

क विकास है कि प्राप्त के अपने अपने के अपने क Расчет взаимодействия капель и кристаллов производился на основе следующих соотношений:

$$\left[\frac{\partial f_1}{\partial t}\right]_a = -f_1(x, z, m, t) \int_0^\infty \beta_2(m, m') f_2(x, z, m', t) dm', \tag{4}$$

$$\left[\frac{\partial f_2}{\partial t}\right]_a = -f_2(x,z,m,t) \int_0^\infty \beta_2(m,m') f_1(x,z,m',t) dm' +$$

$$\begin{array}{ll}
m \\
+ \int \beta_2(m, m - m') f_2(x, z, m - m', t) f_1(x, z, m', t) dm', \\
0
\end{array} (5)$$

$$\beta_2(m,m') = \pi(r(m) + r(m'))^2 |V_1(m) - V_2(m')| E(m,m').$$
 (6)

При записи уравнений (4) и (5) предполагается, что столкновение кристаллов с каплями приводит к замерзанию последних.

Испарение капель и сублимационный рост ледяных кристаллов описывались следующими выражениями:

$$\frac{dr_{\rm B}}{d\tau} = D \frac{\rho_{\rm BX}}{\rho_{\rm B}} \frac{1}{r_{\rm B}} \frac{\mu}{M} \frac{E_{\rm B}}{P} (f-1), \tag{7}$$

$$\frac{dr_{\pi}}{d\tau} = D \frac{\rho_{\text{BX}}}{\rho_{\pi}} \frac{1}{r_{\pi}} \frac{\mu}{M} \frac{E_{\text{B}}}{P} (f - \frac{E_{\pi}}{E_{\text{B}}}), \tag{8}$$

где D — коэффициент молекулярной диффузии пара, $\rho_{\rm BX}$ — плотность воздуха, P — давление воздуха, $\rho_{\rm B}$ и $\rho_{\rm A}$ — плотность воды и льда, μ и M — молярные массы водяного пара и воздуха, $E_{\rm B}$ и $E_{\rm A}$ — давление насыщенного водяного пара при температуре тумана над водой и льдом, f — относительная влажность воздуха.

При внесении в переохлажденный туман ледяных кристаллов вследствие разности парциального давления насыщенного водяного пара над водой и льдом происходит быстрая перегонка пара с капель на кристаллы. При этом если концентрация ледяных кристаллов оказывается меньше, чем концентрация капель, то перераспределение взвешенной в воздухе воды с большего числа частиц на меньшее приводит к увеличению дальности видимости в смешанной системе. При выпадении крупных кристаллов видимость еще увеличивается.

Метеорологическая дальность видимости в тумане рассчитывалась по формуле [3]

$$L = \frac{b}{n_{\rm B}r_{\rm B}^2 + n_{\rm \pi}r_{\rm \pi}^2},\tag{9}$$

где b — безразмерный коэффициент, $n_{\rm B}$ и $n_{\rm A}$ — объемная концентрация капель и ледяных частиц соответственно, $r_{\rm B}$ и $r_{\rm A}$ — их радиусы.

Commence of the company of the compa

В результате решения совместно уравнений (1)—(8) (с соответствующими начальными и граничными условиями) при задании начальных значений термодинамических параметров тумана были получены результаты по рассеянию переохлажденного тумана при активном воздействии на него искусственными ледяными кристаллами. При этом расчеты велись для тумана при температуре воздуха –3 ... –10 °C, атмосферном давлении 900 ... 1000 гПа и скорости ветра 0 ... 5 м/с.

В каждом расчете при разных концентрациях (n_n) искусственных ледяных частиц определялись: время просветления (τ) ; радиус (r_n) , до которого вырастут ледяные частицы; дальность видимости (L), которая при этом установится.

В табл. 1 и 2 приведены некоторые результаты расчетов, полученные при варьировании параметров тумана и искусственных ледяных частип.

В первом варианте из представленных в табл. 1 водность тумана Q = 0.2 г/м³, средний радиус капель тумана $r_{0B} = 5$ мкм, концентрация капель тумана $n_{0B} = 3.8 \cdot 10^8$ м⁻³, дальность видимости $L_0 = 65$ м. Метеорологические параметры следующие: температура воздуха -5 °C, атмосферное давление 1000 гПа, ско-

Таблица 1

Параметры тумана и ледяных частиц до и после активного воздействия

	US ONE S	После в	оздействия	
До воздействия	$n_{_{\rm H}}{\rm m}^{-3}$	т мин	r _n mkm	L M
$Q = 0.2 \text{ r/m}^3$,	10 ⁴	63 60,8	168	2190
$r_{0B} = 5 \text{ MKM},$	$5 \cdot 10^4$	22,4	102	1189
$n_{0_B} = 3.8 \cdot 10^8 \text{ m}^{-3},$	10 ⁵	14,0	81	950
$L_0 = 65 \text{ m},$	2 105	9,0	64	746
$r_{0\pi} = 2$ MKM	3 · 10 ⁵	6,8	56	654
dura e	$4 \cdot 10^5$	5,6	51	596
	5 · 10 ⁵	4,9	48	547
480	6 · 10 ⁵	4,4	45	513
	$7 \cdot 10^5$	4,1	43	476
1 Hy 8	10 ⁶	3,1	38	429
$Q=0,2 \text{ r/m}^3,$	104	64,6	178	2065
$r_{0B} = 10 \text{ MKM},$	5·10 ⁴	22,6	102	1189
$n_{0B} = 4.8 \cdot 10^7 \text{ m}^{-3}$	10 ⁵	14,5	82	933
$L_0 = 130 \text{ M},$	$2 \cdot 10^5$	9,3	65	732
$r_{0\pi}=2$ MKM	3 · 10 ⁵	7,3	57	629
1.26	$4 \cdot 10^5$	6,1	52	563
	5 · 10 ⁵	5,3	49	527
	$6 \cdot 10^5$	4,8	46	485
	$7 \cdot 10^5$	4,4	44	458
	10 ⁶	3,5	39	406
$Q=0.3 \text{ r/m}^3,$	10 ⁴	78,4	191	1699
$r_{0\mathrm{B}} = 5 \mathrm{\ MKM},$	$5 \cdot 10^4$	27,8	114	958
$n_{0B} = 5.7 \cdot 10^8 \text{ m}^{-3},$	10 ⁵	17,7	91	751
$L_0=43~\mathrm{M},$	$2 \cdot 10^5$	11,6	73	578
$r_{0\pi}=2$ мкм	$3 \cdot 10^5$	9,0	64	497
The second second	$4 \cdot 10^5$	7,4	58	454
1 1473 j. n. j.	$5 \cdot 10^5$	6,4	55	416
	$6 \cdot 10^5$	5,6	51	398
	$7 \cdot 10^5$	5,1	49	376
	10 ⁶	4,0	43	333

Таблица 2 Параметры плотного тумана до и после активного воздействия

		После во	здействия	The state of the s
До воздействия	n _л м ⁻³	т мин	гл мкм	L M
$Q=0.3 \text{ r/m}^3,$	10 ⁴	83,3	197	1601
$r_{0B} = 10 \text{ MKM},$	$5 \cdot 10^4$	29,1	116	921
$n_{0B} = 7.1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-3},$	10 ⁵	19	93	710
$L_0 = 87 \text{ M},$	$2 \cdot 10^5$	11,9	74	567
$r_{0\pi}=2$ MKM	3 · 10 ⁵	9,3	65	488
343	4 · 10 ⁵	7,7	59	445
	5 · 10 ⁵	6,7	55	409
	$6 \cdot 10^5$	6	52	383
Tay St.	7 · 10 ⁵	5,5	49	362
4.5	10 ⁶	4,5	44	315
$Q=0.6 \text{ r/m}^3,$	104	107,2	224	1241
$r_{0B} = 5^{\circ} MKM,$	5 · 10 ⁴	41,9	140	635
$n_{0B} = 1.1 \cdot 10^9 \text{ m}^{-3},$	10 ⁵	26,7	112	498
$L_0 = 22 \text{ M},$	$2 \cdot 10^5$	17,8	91	377
$r_{0\pi}=2$ mkm	$3 \cdot 10^5$	13,5	79	330
\$05	$4 \cdot 10^5$	ै 11,1	72	300
1 1980 ()	$5 \cdot 10^5$	9,9	68	271
	6 · 10 ⁵	8,6	63	258
414.1	$7 \cdot 10^5$	7,8	60	244
	10 ⁶	6,2	54	216
$Q = 0.9 \text{ r/m}^3,$	104	155,7	269	858
$r_{0B} = 10 \text{ MKM},$	5 · 10 ⁴	57,5	163	465
$n_{0B} = 2.1 \cdot 10^8 \text{ m}^{-3},$	10 ⁵	36,7	130	365
$L_0 = 29 \text{ M},$	$2 \cdot 10^5$	24	105	281
$r_{0\pi}=2$ мкм	$3 \cdot 10^5$	18,3	92	246
f that if	$4 \cdot 10^5$	15,4	84	221
128 P.	$5 \cdot 10^5$	13,2	78	206
4. 传统	$6 \cdot 10^5$	11,7	78	193
And Annual Property	7.105	10,9	70	180
	106	8,5	62	162

рость ветра 1 м/с. Воздействие моделируется кристаллами радиусом $r_{0\pi}=2$ мкм при их концентрации $n_\pi=10^4\dots 10^6$ м $^{-3}$. Время полного испарения капель тумана обозначено через τ .

При концентрации искусственных кристаллов 10⁴ м⁻³ рассеяние тумана происходит медленно (первая строка табл. 1), но видимость устанавливается значительная, так как кристаллов не слишком много и они, собрав воду, выпадают.

При концентрации искусственных кристаллов 10^6 м⁻³ рассеяние тумана происходит быстро (около 3 мин), но видимость устанавливается поменьше (430 м). Это связано с тем, что кристаллов теперь гораздо больше, и они не оседают быстро, так как достаточно дегкие.

Аналогично интерпретируются другие расчетные варианты, приведенные в табл. 1 и 2.

Были проведены и другие расчеты, в которых учитывался спектр капель тумана. Не останавливаясь подробно на них, отметим, что при учете распределения капель тумана по размерам время просветления тумана несколько увеличивается. Соответствующие оценки проведены авторами.

Следует отметить, что полученные в данной работе результаты не противоречат данным численных экспериментов других авторов при близких условиях рассеяния переохлажденных капель.

Заключение

o see the Silversprint to support the results.

Полученные численные результаты позволяют сделать следующие выводы.

Время просветления переохлажденных туманов зависит от параметров тумана, метеорологических факторов, концентрации вносимых искусственных ледяных кристаллов и может составлять от единиц до десятков минут.

При концентрациях кристаллов более 5·10⁵ м⁻³ время просветления плотного тумана составляет 5—10 мин, при этом установившаяся дальность видимости составляет 200 м и более (при том, что начальная видимость составляла 20—30 м). Для создания зон просветления в слоях переохлажденных туманов мощностью 200-300 м необходимо обеспечить концентрацию искусственных ледяных частиц 10^6 м $^{-3}$. При этом оценочное время наступления просветления составляет 3-5 мин в зависимости от водности тумана и его дисперсности. С увеличением радиуса капель время их испарения увеличивается.

Учет распределения капель тумана по размерам (ширины спектра) приводит к увеличению времени наступления просветления по сравнению с монодисперсными частицами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

allan men leggi besä ti krilla

4.14.134.146.11311.1

- 1. Ашабоков Б. А., Федченко Л. М., Шаповалов А. В., Шоранов Р. А. Численные исследования образования и роста града при естественном развитии облака и активном воздействии. Метеорология и гидрология, 1994, № 1. с. 41—48.
- 2. Баханов В. П., Буйков М. В. Моделирование искусственной кристаллизации, осадкообразования и рассеяния переохлажденных слоистообразных облаков. Обзор. Обнинск: изд. ВНИИГМИ МПД, 1985. 43 с.
- 3. Бекряев В. И. Практикум по физическим основам воздействия на атмосферные процессы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1991. — 144 с.
- 4. Земсков А. И. и др. Сравнение рассчитанных по трехмерной модели и измеренных в экспериментах зон просвета при искусственном рассеянии туманов. Труды ЦАО, 1989, вып. 174, с. 16—25.
- Качурин Л. Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы.
 Л.: Гидрометеоиздат, 1990.
 464 с.
- 6. Коган Е. Л. и др. Численное моделирование облаков. М.: Гидрометеоиздат, 1984.-186 с.
- 7. Котова О. П., Красновская Л. И., Хворостьянов В. И. Влияние дозировки реагента и скорости ветра на эволюцию зон просвета при наземном рассеянии переохлажденных туманов. Труды ЦАО, 1987, вып. 164, с. 18—28.
- 8. Котова О. П., Хворостьянов В. И. Численные эксперименты с двумерной и трехмерной моделями по исследованию зон кристаллизации и просвета при рассеянии облаков и туманов с самолета. Труды ЦАО, 1989, вып. 174, с. 53—67.
- 9. Мазин И. П., Шметер С. М. Облака. Строение и физика образования. — Л.: Гидрометеоиздат, 1983. — 282 с.
- 10. Манжара А. А., Баханов В. П. Моделирование эволюции зон просвета и искусственных осадков в мощном переохлажденном слоистом облаке при засеве твердой углекислотой одной линии. Труды УкрНИИ, 1984, вып. 203, с. 29—44.

- 11. Хворостьянов В. И. Трехмерная нестационарная микрофизическая численная модель искусственной кристаллизации и рассеяния туманов и низких облаков. Труды ЦАО, 1987, вып. 171, с. 51—61.
- 12. Хворостьянов В. И. Моделирование искусственной кристаллизации и рассеяния туманов. Метеорология и гидрология, 1984, № 3, с. .21—30.
- 13. Хворостьянов В. И. Моделирование и схемы зон просвета при наземном рассеянии переохлажденных туманов. Метеорология и гидрология, 1986, № 3, с. 30—37.

යට පැහැරව වෙන සම්බන්ධ සහස්සේ සහස්සේ වන සහස් සහස්සේ සම්බන්ධ වෙන සම්බන්ධ වෙන සම්බන්ධ වෙන ස un product programment in diestrige bundigsband gewichte mergebord bei die Geschie restriction in the contract of Millian Laborator Section III is as a restrict to a section of a section of a p i segul di Mesagenee in anno en egin di saa esse en vassa ola alli tiin alleferate. Illi di illi en e our filesage og villigt for i skip og god ombred, er bedskriving i file i file i skip a n is ship kata jalan ningti i rashin ji sarin sarihin di dhin sa dhi sarin da sarinda i di sari karih orman Carte and Artistan est Carte 1865 Control to the Carte Average Province Artistance Control Raine grant in Parte dramatika katalori da antarata kara terhita (Pilateria da ina ina unici a proprio de la como colo especiale de la composição de la composição de la Pelocida de Maria de Pelocida - และโดย (การเหมือน (ค.ศ. 1965) (การเกมตราช โดย พฤติภาพาชาว (การ **และเ**สมาชิก (ค.ศ. 1966) (ค.ศ. **นั้**นสามา (ค.ศ. reging all earlies were consistent of the interest at the control of the Control e entrancia e la reconjue e en el entrancia de la composició de la composició de la composició de la composició a de la compaña a de anterior de la cambio de deservivos de la cambio de la compaña de la compaña de la compaña TO BE TO BE A VEHICLE WAS A TO SEE TO SEE TO A BEAT OF THE POST OF THE SECOND SECTION OF THE SECOND SECOND SEC Private of the State of

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ДАЛЬНОСТЬ ВИДИМОСТИ ПРИ СНЕГОПАДАХ ПО ДАННЫМ МРЛ В АЭРОПОРТУ ТОМСК

Метеорологическая дальность видимости (МДВ) — одна из важнейших характеристик, определяющих безопасность взлета и посадки самолетов. Диагноз и прогноз МДВ являются приоритетной задачей в работе коллектива аэрометеорологической станции (АМСГ). Руководитель Росгидромета А. И. Бедрицкий в одном из докладов отметил, что в прогнозах дальности видимости в туманах и снегопадах число ошибок наиболее велико, и поэтому "...актуальной остается задача разработки простой и надежной методики прогноза видимости в снегопаде, тумане и высоты нижней границы облаков (с учетом физико-географических особенностей аэродрома)" [2]. Дальность видимости, особенно ее критические значения, близкие к минимумам погоды, тесно связаны с наличием или отсутствием таких атмосферных явлений, как дымка, туман, осадки, причем снегопады обусловливают значительно большее ухудшение видимости по сравнению с другими видами осадков.

Метеорологические радиолокаторы (МРЛ) используются для наблюдения за пространственно-временной динамикой зон осадков, в том числе снегопадов, и косвенной оценки МДВ в них уже давно. Более того, в основном нормативном документе, разработанном в ГГО [7], даны рекомендации по расчету МДВ в различных видах осадков, в том числе и в снегопадах, основанному на физико-статистической модели, учитывающей связь радиофизического поля (радиолокационной отражаемости) и физических параметров метеорологического объекта (в данном случае интенсивности и структуры осадков и т. д.). Однако указанная методика с учетом многофакторности связей и скудости исходной информации, по мнению самих разработчиков, требует корректировки в различных физико-географических районах с учетом сезона года. Рекомендации, изложенные в [7], по-видимому, реализованы на многих АМСГ, однако публикаций по данной проблеме чрезвычайно мало (например, [4]) или они малоинформативны по своей сути. Так, М. В. Билетов и его соавторы (Воронежское высшее военное авиационное инженерное училище) [3] тезисно указали, что для прогноза видимости в снегопаде в качестве предикторов, помимо радиолокационной отражаемости, использовались «метеорологические параметры, оказывающие влияние на структуру снежинок и скорость их выпадения». Обмен опытом организован слабо. Нам известно, что с помощью МРЛ прогнозируется видимость в Кемерово, Новосибирске. Расчет видимости с применением радиолокационных данных по методу В. А. Диневича [4] успешно применяется в аэропорту Уфа. Определение видимости там производится по графикам для мокрого и сухого снега в отдельности на основе данных о ветре и радиолокационной отражаемости. При наличии дымки, дыма вводится поправочный коэффициент.

Как правило, исследование по оценке видимости в снегопадах предполагает следующие этапы:

- 1) климатическая характеристика и аэросиноптические условия снегопадов (для стратегического планирования экономической эффективности деятельности аэропорта);
 - 2) оценка распределения МДВ в снегопадах;
- 3) формирование синхронных массивов с информацией о МДВ и радиолокационной отражаемости в ближней зоне;
 - 4) дифференциация массивов для сухого и мокрого снега;
- 5) оформление прогностических таблиц или графиков как результата статистической обработки указанных выше массивов;
- 6) оценка оправдываемости радиолокационного диагноза и прогноза МДВ при снегопадах.

По материалам В. И. Акимова [1], за Уральским хребтом на общем фоне низких значений относительной повторяемости видимости менее 500 м выделяются три очага повышенной ее повторяемости (10—18 %) с максимумом на юге Западно-Сибирской низменности, что является следствием прохождения западных и южных циклонов и усилением фронтальной деятельности при приближении к окаймляющим низменность горам. Карта, характеризующая распределение показателей МДВ по территории СССР [1] в январе (центральный месяц сезона), свидетельствует о том, что территория Томской области входит в зону повышенной повторяемости видимости менее 1000 м.

Таблица Климатические показатели снегопадов. Томск, 1991—2000 гг.

Вид	Продолжитель-	месяция при в верхо Месяц ия по при водина водина.								
1	ность, число дней							Ш		v
Ливневой	Среднее	0,7	6,5	14,9	18,7	15,1	13,6	10,8	7,2	1,1
снег	Максимальное	4,0	17,0	26,0	26,0	20,0	21,0	16,0	17,0	3,0
Обложной	Среднее	0,1	3,8	11,4	17,6	14,7	10,8	7,6	3,6	0,0
снег	Максимальное	1,0	11,0	20,0	22,0	26,0	21,0	13,0	16,0	0,0
	ьная суммарная гельность*, ч [6]	143	305	395	450	413	374	265	189	129
Количеств	о осадков*, мм	62,5	56,9	52,1	47,0	31,8	24,1	18,2	32,3	36,2
	зделения по фазе (ж									

Необходимость поиска метода краткосрочного прогноза видимости в снегопадах очевидна и убедительно обосновывается климатическими показателями (табл. 1).

- Vinner insekturas Purasoniras hanna (a. a. innerhitationet insekti insekti alteri att insekti. Sin vin 15.

Наибольшая повторяемость (доля времени, %) ограниченной горизонтальной видимости в зимний период связана с метелями, туманами и снегопадами. Повторяемость МДВ менее 0,5 км составляет в среднем 0,1 % при ливневом снеге и 0,3 % при обложном. Максимум повторяемости горизонтальной видимости менее 0,5 км отмечен в феврале (0,7 %), менее 1 км — в апреле (1,5 %), менее 2 км — в марте (23,6 %).

Систематическая работа по использованию радиолокационной информации для диагноза и прогноза метеорологической дальности видимости в осадках за холодный период на АМСГ Томск стала проводиться с 1989 г. в два этапа. На первом этапе на местном материале корректировались результаты исследований, проведенных на МРЛ-2 Кемерово. В 1992 г. на АМСГ Томск был демонтирован радиолокатор МРЛ-2 и установлен МРЛ-5. При этом выяснилось, что оправдываемость не только прогноза, но и диагноза МДВ заметно понизилась. Возникла необходимость провести новое исследование прогнозирования МДВ по

данным МРЛ-5, анализу основных результатов которого посвящена настоящая работа.

В качестве исходных привлечены материалы метеорологических и радиолокационных наблюдений за два зимних периода (октябрь—апрель 2001-2002 и 2002-2003 гг.). Радиолокационные наблюдения за облачностью и связанными с ней явлениями проводятся ежечасно, круглосуточно и через 30 мин в режиме «шторм» [7]. Измерение отражаемости $\lg Z_1$ производилось на удалении 5-10 км при углах возвышения антенны $0.2-10^\circ$, что соответствует высоте 100-500 м над поверхностью земли в зависимости от расстояния. Следовательно, МРЛ при такой установке антенны, к сожалению, не отражает влияния метелей, которые играют существенную роль в формировании МДВ.

Наблюдения за видимостью на аэродроме Томск проводятся с использованием инструментальных средств (ФИ-1) или визуально по дневным и ночным ориентирам. Инструментальные наблюдения проводятся при МДВ 2000 м и менее. Определение МДВ производится через каждые 30 мин, а при видимости менее 1000 м непрерывно. Наблюдения за атмосферными явлениями (АЯ) проводятся визуально, круглосуточно и непрерывно, фиксируются начало и конец, а также интенсивность, оценка которой, безусловно, носит качественный и несколько субъективный характер. Наставление [5] рекомендует раздичать три категории интенсивности: умеренную, т. е. обычную для данной станции в конкретный сезон, слабую и сильную. Слабая и сильная интенсивность отмечается в тех случаях, когда характер явления значительно (!) отличается от умеренной интенсивности. Пля осадков, тумана, дымки значение интенсивности явления жестко связывается с МДВ (слабая — МДВ более 2 км. умеренная — 1-2 км, сильная — менее 1 км).

Известно, что в настоящее время при стандартной программе наблюдений (нет "снежных" плювиографов) можно рассчитать только осредненную интенсивность зимних осадков, количество которых измеряется через 12 ч, фиксируя их общую продолжительность в этот период. Более точные значения могут быть получены при кратковременных единичных осадках в течение полусуток: Характеристика интенсивности, оцениваемая по МДВ, плохо коррелирует с обычной интенсивностью (мм/ч) жидких осадков, значения которой связывают с радиолокационной отра-

жаемостью. Это одна из существенных причин ухудшения качества цепочки радиолокационная отражаемость $\lg Z_1$ — интенсивность (мм/ч) — МДВ. Приведем два характерных примера:

unique grant le arrandice de la completa de la com

Дата	
Продолжительность, ч2,7	10,2
Количество, мм 5,8	
Интенсивность, мм/ч 2,1	(1,07 °) Virtualistics
Интенсивность (по МДВ) Слабая	Слабая и умеренная
$\lg Z_1$ От -0.6 до 0.4	От -0,9 до 0,6
МДВ, км ≥ 5; 2(0,5 ч) года	
च महा बहु को बहु व अपेक्ष हो । का बहु का हुन । से बहु हुन हुन	r et satskip, it kar

За два зимних сезона отобрано 2548 случаев параллельных радиолокационных и метеорологических наблюдений. Режим осадков за исследуемый период характеризуется данными, приведенными в табл. 2. По интенсивности (критерий — значение МДВ) осадки распределяются следующим образом: сильные — 3 %; умеренные — 31 %; слабые — 66 %.

Таблица 2

Суммарная повторяемость (доля времени, %)
различных видов осадков. Томск, октябрь—апрель 2001/02 и
2002/03 гг.

POR PARA COM PARA COME CON ESSENTICA SONO DE LA PARTICIO DE LA COLONIA DE LA COLONIA DE COMENCIA DE COMPOSAR E

Вид осадков	Повторяемость, %	
Ливневой снег		
Обложной снег	eir) dilivis ei 25,8 vois in acresc	
Ливневой мокрый снег Обложной мокрый снег	13,4	
Ледяная, снежная крупа		
HERE STORE THE STORE OF THE STORE STORE	ON SOURCE OF SERVICE PROPERTY AND SOURCE	

Пространственно-временная структура зоны зимних осадков чрезвычайно сложна, ибо изменяется не только распределение гидрометеоров по размерам в единице объема, но также форма и фазовое состояние частиц. Основная проблема формирования массивов для последующей статистической обработка заключа-

Относительная повторяемость (%) радиолокационной отражаемости

Видимость при спетопадах по данным МРЛ-5. Томск Радиолокационная отражаемость ($\lg Z_1$) 1,1 -0.4 при различной интенсивности снегопада Умеренная интенсивность Сильная интенсивность -0,3 Слабая интенсивность -0,2 1,0 |40,0 |0,5 1,1 24,2 0.8 снегопада Мокрый Мокрый Мокрый Вид Сухой Cyxoŭ Cyxoй

лась в синхронизации значений $\lg Z_1$ и МДВ для заданного вида снегопадов. В табл. З приведена относительная повторяемость дискретных значений $\lg Z_1$ в зависимости от вида снегопада и интенсивности (в терминах МДВ). Имеет место значительный разброс, хотя наблюдается некоторая тенденция роста радиоло-кационной отражаемости при увеличении интенсивности снегопада, а также в мокром снеге по сравнению с сухим.

Дальнейшая статистическая обработка исходных материалов предусматривала расчет средневзвешенного значения $\lg Z_{\rm cp}$ для заданного интервала МДВ по соотношению

$$\lg Z_{\mathrm{cp}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{m} \lg Z_{i} n_{i},$$

где $\lg Z_i$ — значение радиолокационной отражаемости, n_i — число случаев наблюдений заданной градации, N — общее число случаев для заданной градации, m — число градаций.

Итоговый результат представлен в виде переводных таблиц (табл. 4), на входе которых — градации радиолокационной отражаемости, а на выходе — градации МДВ. Эти таблицы применяются в оперативной работе.

Таблица 5 используется в переходные сезоны, когда велика вероятность выпадения смешанных осадков или мокрого снега. Кроме того, ее рекомендуется применять в зимний период при температуре воздуха выше –2 °C с учетом того, что в зимних температурных инверсиях, характерных для Сибири, формируются слои с положительными температурами.

По массиву измерений (МДВ ≤ 2 км) за период октябрь — декабрь 2004 г. (66 случаев снегопада) проведена проверка оправдываемости радиолокационного диагноза и получены следующие результаты: общая оправдываемость 82 %, из 12 неоправдавщихся прогнозов в четырех случаях фактическая МДВ больше прогнозируемой, в остальных — ниже.

В заключение следует отметить, что использование МРЛ для прогноза видимости в снегопадах в настоящее время пока недостаточно эффективно и работу следует продолжать. Синоптики АМСГ Томск уже сейчас в оперативной работе более заинтересо-

Видимость при снегопаде в мокром и сухом снеге по данным МРЛ-5. Томск

vanamentalis (III.) Organisas prikas
Мокрый снег		Сухой снег	
$\lg Z_1$	МДВ, км	$\lg Z_1$	МДВ, км
3.000 ≤ ÷0,6 . 13.00	≥2 ,5		ger (2,5) kr
-0,5 ÷-0,3	2,0 ÷2,4	-0,6 ÷-0,3	2,0 ÷2,4
		-0,2 ÷0,1	1,5 ÷1,9
0,3 ÷0,7	1,0 ÷1,4		1,0 ÷1,4
0,8÷1,2	0,5 ÷0,9	0,5 ÷1,2	0,5 ÷0,9
≥ 1,3	<0,5	≥ 1,3	<0,5

ванно и целенаправленно учитывают радиолокационную информацию о движении зон снегопадов, особенно снежных зарядов.

список литературы

- 1. Акимов В. И. Распределение относительной повторяемости видимости в осадках на территории СССР. Труды ВНИИГМИ—МЦД, 1983, вып. 107, с. 37—45.
- 2. Бедрицкий А.И.О деятельности Росгидромета в 2001 году и задачах на 2002 год //Использование и охрана природных ресурсов в России. Ежемесячный бюллетень. М.: НИА—ПРИРОДА, 2002, с. 122—133.
- 3. Билетов М. В., Золоторев В. Н., Круссер И. В. Методика прогноза видимости в снежных зарядах при комплексном использовании радиолокационных и аэросиноптических данных // Тез. докл. Всерос. науч. конф. о современной географии и окружающей среде (24—26 сентября 1996 г.). Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1996, с. 71—72.
- 4. Диневич В. А. Оценка видимости в снегопадах по данным МРЛ // В сб.: Радиолокационная метеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1981, вып. 470, с. 109—113.
- 5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып 3. Ч. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. — 300 с.
- 6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные Вып. 20. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. 717 с.
- 7. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. 273 с.

AN THE SAME

А. И. Петров, Г. Г. Петрова, И. Н. Панчишкина

化乙烯环烷物物 计可定义 医乳状外腺小皮膜

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОКА МЕХАНИЧЕСКОГО ПЕРЕНОСА

В обмене зарядами между атмосферой и землей важную роль играет механический перенос зарядов в вертикальном направлении, так как в случае попадания отрицательного заряда на земную поверхность или перемещения положительно заряженных объемов воздуха от земли под действием механических сил эти процессы можно рассматривать как дополнительный генератор электрического поля атмосферы (так называемый конвективный токовый генератор).

Ток механического переноса в атмосфере определяется как конвективными движениями объемного заряда ρ с вертикальной скоростью υ, так и диффузионными потоками заряженных частиц. Для существования заметной диффузионной составляющей тока механического переноса в атмосфере, кроме наличия турбулентной диффузии, должно установиться неравномерное распределение объемного заряда.

Таким образом, обозначив плотность тока конвекции в атмосфере

and the control of the property of the property of the second of the second of
$$j_{\mathbf{x}}:=ar{
ho}m{v}_{\mathbf{x}}$$
 , we are also be a second of $j_{\mathbf{x}}:=ar{
ho}m{v}_{\mathbf{x}}$, we are also be a second of the seco

а плотность тока диффузии

$$j_0 = -k \frac{\partial \rho}{\partial z},$$

где k — коэффициент турбулентной диффузии, $\frac{\partial \rho}{\partial z}$ — вертикальная составляющая градиента объемного заряда, получим выражение для плотности тока механического переноса:

$$j_{\text{MII}} = j_{\text{K}} + j_{0} = -k \frac{\partial \rho}{\partial z} + \rho v.$$

Плотность тока механического переноса на границе атмосфера—земля $i_{\rm MR}$ аналитически не определяется. Можно лишь предположить, что он является некоторой функцией физических параметров, характеризующих состояние прилегающего к земле слоя воздуха [1]:

uta a tananggi dan magalarah kenalah bahar berasa bermada dal

В связи с этим для выяснения роли механического переноса в обмене зарядами между атмосферой и землей экспериментальные исследования вертикального электрического тока на границе атмосфера—земля имеют большое значение.

Для одномерной стационарной задачи выполняется условие $\operatorname{div} j = 0$, т. е. плотность полного вертикального тока в атмосфере $j = \lambda E + j_{\text{MII}}$ остается постоянной по высоте. Следовательно, плотность полного вертикального тока на границе атмосфера—земля $i = i_{\lambda} + i_{\text{MII}}$ должна быть равна плотности полного вертикального тока в атмосфере j:

или

For a check
$$\mathcal{F}$$
 , which is the \mathcal{F} , which is a constant of the \mathcal{F} , which is a constant of \mathcal{F} , which is a constant \mathcal{F} .

Таким образом, если плотность тока проводимости в атмосфере λE изменяется с высотой, то

Unity of the contract of the energy
$$\lambda E = \frac{d(\lambda E)}{dz}$$
 for the energy z of the

Результаты наблюдений многих авторов, в том числе и результаты нашего эксперимента, указывают на значительное изменение плотности тока проводимости в прилегающем к земле метровом слое воздуха. Таким образом, в любом выбранном сколь угодно тонком слое воздуха образуется объемный заряд, пропорциональный $\frac{d(\lambda E)}{dz}$, который изменяет величину и распре-

деление объемного заряда в этом слое.

Наличие неравномерного распределения объемного заряда вблизи земной поверхности в условиях турбулентного перемешивания приводит к появлению диффузионной составляющей тока механического переноса из атмосферы на землю $i_{\rm д}$. Поскольку на границе земля—атмосфера скорость вертикального движения воздуха равна нулю, то ток конвекции отсутствует.

Таким образом, измерив плотность полного вертикального тока на землю и плотность тока проводимости на разных уровнях, можно оценить величину и характер изменения плотности тока механического переноса в атмосфере.

На рис. 1 представлены профили плотности полного тока, плотности тока проводимости и плотности тока механического переноса.

Значения плотности полного тока i и плотности тока механического переноса $i_{\rm MII}$ на границе атмосфера—земля непосредственно измерены методом пластины, а плотность тока проводимости рассчитывалась как разность $i_{\lambda}=i-i_{\rm MII}$. Плотность тока проводимости в атмосфере получена как произведение электропроводности и напряженности электрического поля атмосферы $j_{\lambda}=\lambda E$ на соответствующем уровне. Плотность полного тока в атмосфере j принималась равной плотности полного тока из атмосферы на землю i. Значения плотности тока механического переноса в атмосфере подсчитывались как $j_{\rm MII}=j-\lambda E$. Измерительный комплекс описан в ранее опубликованных работах [2, 3].

Из рис. 1 видно, что плотность тока проводимости значительно изменяется в слое 0-5 см. Дивергенция тока проводимости, изменяя величину и распределение объемного заряда в этом слое, по-видимому, влияет на диффузионную составляющую тока механического переноса из атмосферы на землю. Это можно заметить по синхронным изменениям div λE и $i_{\rm MR}$ в течение суток (рис. 2).

Заряд, сообщаемый током механического переноса поверхности земли, для обоих пунктов наблюдений совпадает по знаку с зарядом, который образуется в прилегающем к земле слое атмосферы в результате дивергенции тока проводимости. Для измерительной площадки, расположенной на берегу оз. Байкал, обе величины положительны, а в Михайловке Ростовской области они принимают отрицательные значения.

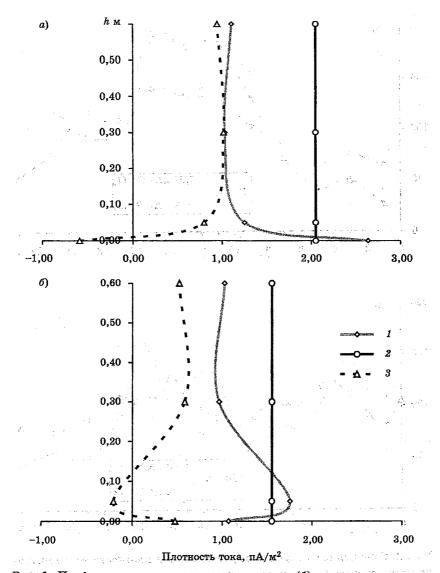


Рис. 1. Профили плотности тока проводимости (1), плотности полного тока (2) и плотности тока механического переноса (3).

а) Михайловка (1995, 1997 гг., 136 часовых серий), б) берег оз. Байкал (1991 г., 58 часовых серий).

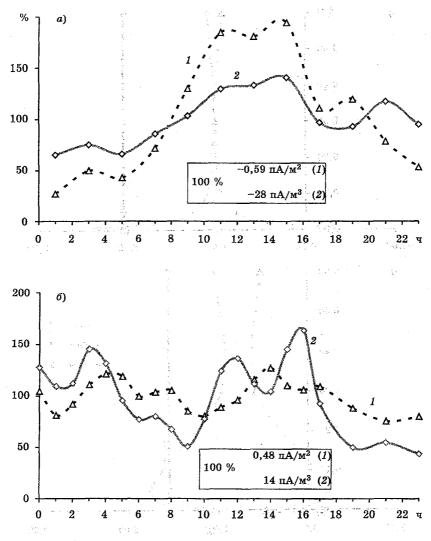


Рис. 2. Отношение (%) среднего суточного хода плотности тока механического переноса (1) и дивергенции плотности тока проводимости (2) к среднему за период значению.

а) Михайловка (1995, 1997 гг., 136 часовых серий), б) берег оз. Байкал (1991 г., 58 часовых серий).

Таким образом, можно предположить, что в генерации объемного заряда в нижнем слое атмосферы участвует ток проводимости легких ионов, а процесс диффузии приводит к попаданию этого заряда на поверхность земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Изергин А. М. Прямой метод измерений вертикального конвективного тока из атмосферы на землю. Уч. записки КГПИ, 1958, 15, с. 38—69.
- 2. Petrov A. I., Petrova G. G., Panchishkina I. N. Variations of vertical "atmosphere—earth" current components and its probable interpretation / In: Proc. 10th Int. Conf. Atm. Electricity, 1996, p. 548—551.
- 3. Панчишкина И. Н., Петрова Г. Г., Петров Н. А. Вертикальный электрический ток в атмосфере и на границе атмосфера—земля // Труды V Российской конференции по атмосферному электричеству. Владимир, изд. ВлГУ, 2003, т. 1, с. 121—124.

สารแสด้วยนี้ (แบบสารแบบ สารแบบสารแบบสารแสด้วย และสารแสด้วยสารแบบสารแบบสารแบบสารแบบสารแสด้วย สารแบบสารแสด้วย ভা কুলার কার্যা ক্রান্তরামুদ্রামা মর্যালাক্ষ্মকৃত্যাল জীয়া ক্রান্তর্ভাগ প্রস্তান হয় ও আমান্তরাহার ভারতী the many first 2, in the company of the special contract the contract being the trace at eng i kinggan majat julian galar kutakat belini di tabaka kitago lengan di Aligin Minin Aligi. an the best transfer that he had been appeared to the same of the best and the same of the 到一点就是这点^就是这个人的人,也没有,这个人的时候,这个女人的人都是这样的。这个人 source was any arms of the first that the local of a first the arms of their sec-regarden i regarden gardinari de germante et alegar i regarden de de de al la compaño de de de de de de de de d iga Angalij Karaja ng gramawa a arantok kingtok ng militan ng awali wasi kabanga karajar ng sa a program was with the common and the common of the common 医乳蛋白酶 化电子 医结肠性 化二氯基甲基 电电子 网络克格尔 医二十二氏性皮肤炎性 医神经皮肤炎 化二氯甲基二甲基二甲基 CAROLLALOS ESPECIALES DE PESTO, QUE PROTENCIA LA CONSTITUIR EN ÉLEMBRE DE ARTE, NADE naka no amo ningara na milina katamban sa 1900 na mpakatan milina katamban mini matamba ent in scottling our merybroken grovings varings on in this in this behavior that se · 整个数据 医克勒氏病 化聚基甲基二氏 计对象程序 医多次性 解决的 医囊膜切除 等的 THE STATE OF THE S (1991) (1983年1月1日) (1982年1月1日) (1984年1月1日) (1984年1月1日) (1984年1月日) (1984年1月日) (1984年1月日) and the state of t

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ

A Life of the first that we have the first of the graph of the property of the first of the firs

The control of the second second process and the second second of the control of the second s Исследования пространственно-временных вариаций атмосферно-электрических характеристик в приземном слое обнаруживают их значительную обусловленность метеорологическими процессами вблизи земной поверхности. В значительной мере это, по-видимому, связано с тем, что последние влияют на поступление в атмосферу и перенос таких важных для атмосферного электричества примесей, как аэрозоли, радиоактивные газы, водяной пар. Анализ результатов наблюдений показал, что особое значение для электрической структуры приземного слоя в теплый период года имеют факторы, определяющие его перемешивание: стратификация атмосферы, скорость и турбулентность воздушных потоков. В общих чертах эти эффекты обнаружены при атмосферно-электрических наблюдениях вблизи земной поверхности в середине прошлого века [1-3]. Подробно же их роль исследовалась, например, в работах [4-11]. Показано, в частности, что суточные вариации полярных электропроводностей атмосферы на самых нижних уровнях и закономерная суточная трансформация их вертикального профиля в слое 0-3 м связаны с характерным изменением условий перемешивания в течение суток при наличии радиоактивного дыхания почвы [9, 10]. Последнее условие, по-видимому, важно, и влияние перемешивания на электропроводность атмосферы опосредовано тем, что перемешивание перераспределяет в приземном слое такой важный для нижней атмосферы ионизатор, как радиоактивные эманации подстилающей поверхности. Обнаружено, что при слабом эманировании почвы полярные электропроводности вблизи земли сравнительно мало изменяются в течение суток и с высотой независимо от интенсивности перемешивания атмосферы. Такая ситуация, в частности, типична для зимних месяцев, когда земля покрыта снегом, а почвенные поры закрыты из-за ее промерзания, что создает естественный экран для выхода из почвы в атмосферу радиоактивных газов.

Сложность исследования атмосферно-электрических процессов в атмосфере связана с их многофакторностью. Применение физико-статистических методов при анализе результатов измерений характеристик атмосферного электричества позволяет более обоснованно систематизировать и группировать материал исследований, что, как показывает опыт, способствует большему их успеху [11].

С учетом вышеизложенного были проведены физико-статистические исследования полярных электропроводностей атмосферы вблизи земной поверхности по результатам измерений (описание комплекса см. [8—10]) в летние месяцы 1992—1998 гг. в двух пунктах Кашарского района Ростовской области, расположенных на расстоянии 15 км друг от друга: Михайловке и Первомайском. Пункт Первомайское расположен на водоразделе, на открытом, сухом, хорошо вентилируемом черноземном сельско-хозяйственном поле. Площадка пункта Михайловка находится в 200 м от берега небольшой степной речки на песчаной почве, поросшей низкой степной травой, и окружена невысокими лесонасаждениями. Размер ее составляет примерно 400 × 600 м. Травостой непосредственно под датчиками убирался на площади около 20 × 20 м так, что надпочвенные части растений срезались, а задернение верхнего слоя почвы корнями сохранялось.

По результатам измерений были построены эмпирические распределения полярных электропроводностей атмосферы на высоте 0,05 м как для всех часов суток, так и отдельно для дневных и ночных часов. При рассмотрении полученных распределений было обнаружено, что в среднем для суток эмпирические распределения далеки от нормального. Размышляя над причинами, обусловливающими отклонение эмпирического распределения от нормального, следует иметь в виду, что наличие асимметрии и эксцесса может указывать на неоднородность выборки, если в одну совокупность сведены две или большее число нормальных подсовокупностей, каждая из которых характеризуется своим набором основных параметров [12].

На рис. 1 представлена повторяемость значений полярных электропроводностей для всей совокупности данных и для тех — однородных по физическим условиям — подсовокупностей, ко-

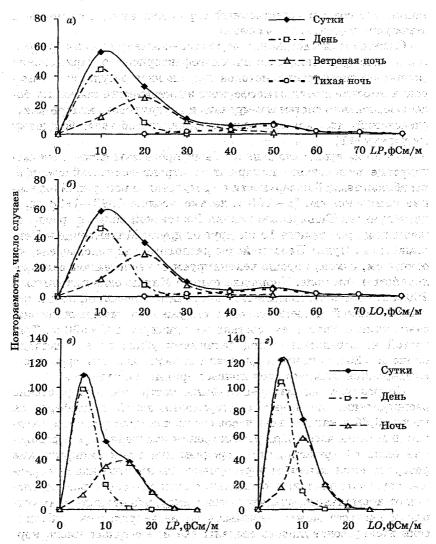


Рис. 1. Эмпирические кривые распределения повторяемости (число случаев) положительной *LP* и отрицательной *LO* электропроводности для разных выборок в Первомайском (а, б) и Михайловке (в, г) Кашарского района Ростовской области в летний период.

Число часов и условия измерений см. в табл. 1.

Таблица 1

Физические характеристики приземного слоя атмосферы в период атмосферно-электрических измерений в пунктах Кашарского района Ростовской области

Число часов	Выборка	Характе- ристика	<i>t</i> (°С) на высоте 2 м	Градиент t(°C) в слое 0,5—2 м	Ско- рость ветра (м/с) на высоте 2 м	Коэф. турб., (м ² /с) по Орленко	Пара- метр страти- фика- ции	Град. потен- циала на ур.зем- ли, В/м
			Пе	рвомайск	oe		a si	Consistent of
117	Сутки	Среднее	23 5	0.0	2,0	0,03	0,9	16
		Ст. откл.			1	0,04	-	17
52	75 % 47	Среднее			1	0,05	1,5	14
		Ст. откл.				0,05	. 	20.
14	1	Среднее			1 -		0,1	7
	ночь	Ст. откл.			0,3	0,00	ूच्या इच्या	. 5
50	Ветреная	Среднее	19.3	0.6	1.6	0.01		20
1		Ст. откл.					าน จ้า เป็	15
1 5 1977	Partungsi	I : Mia	M	ихайловн	c a	- argrass		i arej d
221	Сутки	Среднее	17,6	-0,1	1,5	0,02	1,0	46
	1 5 5 160 1	Ст. откл.	7,9		1,3	0,04	1957 7 7	28
119	День	Среднее	23,5	-0,7	2,3	0,04	1,2	58
		Ст. откл.	4,3		1,0	0,04		24
102	Ночь	Среднее	10,6	0,5	0,5	0,01	0,2	32
	The second of the second	Ст. откл.	4,9	SAN SAN SAN	0,7	0,02	aa totalii i	26

торые ее составляют. Очевидно, неоднородность полной круглосуточной совокупности значений полярных электропроводностей связана с тем, что в данном регионе условия перемешивания в атмосфере сильно изменяются ото дня к ночи. Летом ночи в Ростовской области, как правило, тихие с низким коэффициентом турбулентности и инверсией температуры (t), а в дневное время атмосфера интенсивно перемешивается.

Исследования показали, что в Михайловке достаточно быловыделить в отдельные группы дневные и ночные часы. В Перво-

Концентрация радона-222 в почвенном газе (Бк/м³) в пунктах Кашарского района Ростовской области по данным трековых дозиметров (комплекс КСИРА)

Пункт	9 ; 2	Глубина, м	
наблюдений	0,1	0,6	0,9
Первомайское	2297	4727	5793
Михайловка	433	1587	2004

майском ночное распределение характеризовалось двумя вершинами, что заставило нас продолжить поиск составляющих его групп. Оказалось, что в Первомайском штилевые ночные часы без дымки, тумана, запыленности атмосферы при наличии глубокой температурной инверсии (табл. 1) в отношении наблюдающихся значений электропроводности выделяются в отдельную группу. Другую ночную группу составили все остальные ночные замеры. Условно эти группы названы «тихая ночь» и «ветреная ночь». Из рисунка видно, что ясные тихие ночи с глубокой инверсией температуры воздуха вблизи земли в Первомайском (см. в табл. 1 данные о градиенте температуры воздуха и параметре стратификации) характеризуются аномально высокими значениями полярных электропроводностей. Причиной наблюдающейся ситуации, очевидно, является высокое по сравнению с Михайловкой содержание радона-222 в почве на площадке пункта Первомайское (табл. 2). Именно в такие часы из-за радиационного выхолаживания почвы распределение температуры в ее поверхностном слое таково, что способствует интенсивному выходу радона-222 в атмосферу [10]. В условиях отсутствия перемешивания приземного слоя, о чем можно судить по значениям коэффициента турбулентности и скорости ветра (см. табл. 1), радон накапливается вблизи земной поверхности и обеспечивает высокую степень ионизации нижних слоев атмосферы.

В группу «тихая ночь» вошли около 20 % всех ночных часов в Первомайском. В Михайловке замеры с аномально большими значениями электропроводности также наблюдались, но очень редко: они составили 3—5 %. Поэтому они не образовали отдель-

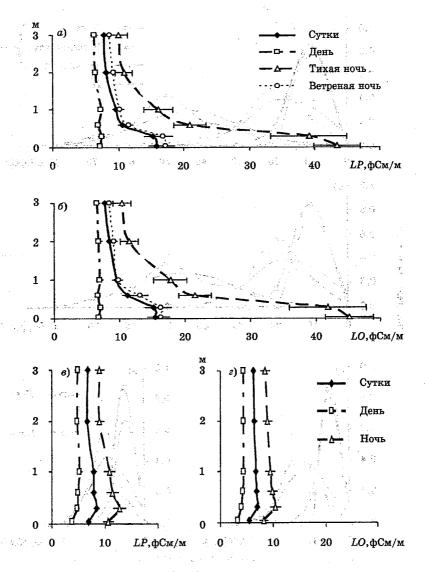


Рис. 2. Вертикальные профили положительной LP и отрицательной LO электропроводности атмосферы в Первомайском (a, δ) и Михайловке (a, s) Кашарского района Ростовской области в летний период.

Число часов наблюдений см. в табл. 1.

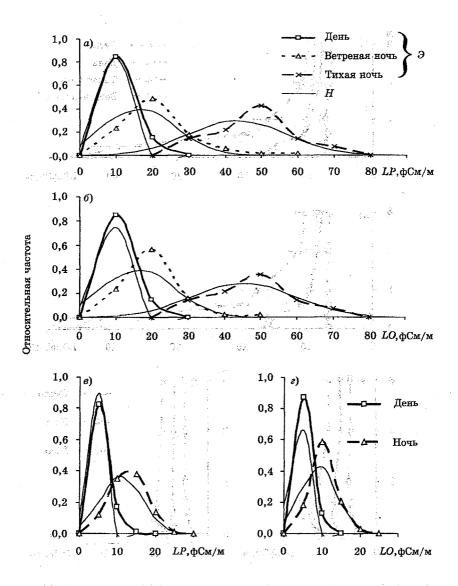


Рис. 3. Эмпирические (Э) и нормальные (H) распределения относительных частот положительной LP и отрицательной LO электропроводности атмосферы на высоте 0,05 м в летний период в Первомайском (a, δ) и Михайловке (a, δ) Кашарского района Ростовской области.

ную группу и были отброшены как «хвосты» распределения после соответствующей процедуры статистической обработки.

На рис. 2 представлены вертикальные профили полярных электропроводностей для рассматриваемых выборок. Обращают на себя внимание особенно значительные вертикальные градиенты полярных электропроводностей для «тихих ночей» в Первомайском.

Из рис. З видно, что эмпирические распределения относительных частот значений полярных электропроводностей для выделенных подсовокупностей более близки к нормальному, чем для полной совокупности данных. На наш взгляд, это связано с большей однородностью физических условий, в которых получена каждая из выборок, составивших полную совокупность данных. Возможно, это необходимо учитывать при анализе результатов наблюдений, группируя данные, и при моделировании атмосферно-электрических процессов в приземном слое, особенно для пунктов наблюдений с интенсивным эманированием подстилающей поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Law J. The ionization of the atmosphere near the ground in fair weather. Quart. J. R. Met. Soc., 1963, 89, p. 107—121.
- 2. Higazi K. A., Chalmers J. A. Measurements of atmospheric electrical conductivity near the ground. J. Atm. Ter. Phys., 1966, V. 28, p. 327—330.
- 3. O'Donnel G. A. Electric conductivity and small ion concentration of the atmosphere at one meter above ground and conductivity at ground level. J. Atm. Ter. Phys., 1952, V. 2, p. 201—215.
- 4. Israelsson S. On the conception "Fair weather condition" in atmospheric electricity. Pure Appl. Geophys., 1978, V. 116, p. 149—158.
- 5. Knudsen E., Israelsson S., Hallberg B. Measurements of the electrode effect over flat, snow-covered ground. J. Atm. Ter. Phys., 1989, V. 51, N 6, p. 521—527.
- 6. Петров А. И., Петрова Г. Г. Вертикальные профили полярных электропроводностей и плотности объемного заряда в электродном слое атмосферы. Труды ГГО, 1988, вып. 514, с. 12—16.
- 7. Петров А. И., Петрова Г. Г. Результаты измерений электропроводности в электродном слое атмосферы. Труды ГГО, 1990, вып. 527, с. 12—17.
- 8. Петров А. И., Петрова Г. Г., Панчишкина И. Н., Кудринская Т. В., Куповых Г. В., Клово А. Г. Электропроводность воздуха и концентрация радона в приземном слое. Труды V Российской конференции по атмосферному электричеству. Владимир, изд. ВлГУ, 2003, т. 1, с. 124—127.

- 9. Petrov A. I., Petrova G. G., Panchishkina I. N. Measurements of polar conductivities in the surface layer of the atmosphere. — In: Proc. 10th Int. Conf. Atm. Electricity. — Osaka, Japan, 1996, p. 188—191.
- 10. Petrov A. I., Petrova G. G., Panchishkina I. N. On factors determining the variations of the electric characteristics of a surface layer. — In: Proc. 11th Int. Conf. Atm. Electricity. — Alabama, USA, 1999, p. 547—550.
- 11. Petrov A. I., Petrova G. G., Panchishkina I. N. Statistic structure of variations of vertical «atmosphere—earth» currents. — In: Proc. 12th Int. Conf. Atm. Electricity. — Versailles, France, 2003.
 - 12. Урбах Е. Ю. Биометрические методы. М.: Наука, 1964.

े हिल्ला के कार्या के स्वतास्था के अने का अने के लिए हैं जिल्ला के किसी हैं के किस के किसी हैं के किस के किसी รศาสตร์ เพื่อใช้เกลา เกิดสุดเหลา การเกิดสังเหลื พฤษุตร์ ที่เหลา (กระการโลยซ้องสุดเลาต์ การต้องพระ 5 การเรีย า_{ยอ}บรายสาทิสาเลีย และ และ และ แก้การสุดเลอกกับ กระเทากับเลื่อสาทิสาเล็กกับสามารถ สิงหาเลย การแบบ Trans ได้เก็ดติดการที่เราจะไม่ เรื่องให้เรื่องในทุกเตโม อยายองคุ้ม อด (และคุ้มกลูกมอง พิมาเมศตรี) างสดสายสดงที่สดดสายเดือน เดือนได้เป็นการทางที่สดสุดสดงต่อง และสายสิเดียว คด ได้สดดสายสด เป็นต่องเกี่ยวนั้นสายารากสะ เราะเอง (การกว่า การการครั้งสายาเสราะเอง สนุนสมบัติ (การกว่า เป็นเปลาะ ere marketer paraket i ega merekalarge kalarikar ebah analasi ebah rentine filosomo esta de la segui esta como en la compasita de la como filo en filosomo destruiros. Building are researched by the minimal sections of the section of the contract of the section of user of the same fright of a

Le dyon have a versus

- เล่าที่รับความที่เล่าได้เกาลดลด์ เบอก คดเลือดต่อ ได้ ขณาใจ ซอดต่อเลือดที่ เดิดเลือด CONTROL OF STREET OF SAME OF CONTROL in a refer bleedgrouper de paragreperent in a la enemanda a la Ricker publica.
- ambient of agreem A. 2001, anget and trade at the property active of the forces wise in it was defending a gest obeing many platifications was told UA - O for the China polici il la dica i bitava la calla Magilla da la cua grango deta accidante la calla dicida.
- lagrif car a sect of the property une exposerba es trespontares es librar es la esta pesser e V en la comentes la la la
- go de la fin et light i legal tra est l'elemant de la Aleman in Balla de l'embre le fin te le bale
- render wordig the entropicity of nonlinear, the first progression will be an expected -- seri Quori de rici vivilizaren kieli internigiako kiribetarilerriak errolikiak italiaren 1880a.
- Common desperatormes e distribución sessant sold de mesta 👫 diferción de la como de seguindo de del
- A STATE OF THE STA ាស្ត្រាក់ មិនពី មានការប្រើកំណុំទី២ មិន ប្រញ្ញាំ បាក់ស្ត្រាក់ ខែការបាក់ការបាក់ មានប្រែការស្ត្រី ប្រភព

на применять общержание общержание общержание общественный было в настройный выпуска общественный применять выпуска общественный высты общественный выпуска общественный выпуска общественный выпуска общественный выпуска общественный выпуска общественный высты общественный выпуска общественный выпуска общественный выпуска о

- 1987年 - 人名爱尔特斯马克特名爱尔 (2) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1	
Е. Л. Махоткина. Л. Г. Махоткин — вклад в геофизику (к	
90-летию со дня рождения)	
Г. Г. Щукин, В. О. Тапасханов, А. В. Шаповалов.	
К проблеме доплеровских измерений в системе дистанционного об-	
наружения грозо- и смерчеопасных облаков)
А. Д. Егоров, И. А. Потапова, Д. В. Привалов. Систе-	
матические погрешности обращения лидарных сигналов малой	
мощности)
В. Н. Морозов. Расчет электрических зарядов и полей в элек-	
троактивной зоне грозового облака	š
В. Н. Морозов. Распределение электрического поля, создава-	
емого нестационарным током заряжения грозового облака в атмос-	
фере с неоднородной электрической проводимостью 51	L
В. В. Клинго, В. Н. Козлов. К взаимодействию молекуляр-	
ных ионов естественной атмосферы с поверхностью водяных капель 68	3
Г. П. Гущин, С. А. Соколенко, И. Г. Ляпина. Некото-	
рые результаты регулярных измерений ультрафиолетовой радиа-	
ции на сети станций России	7
В. И. Привалов, А. М. Шаламянский, А. А. Солома-	
тникова, С. С. Гулидов. Ультрафиолетовый озонный спектро-	
метр. Измерения спектрального состава УФ радиации и оптичес-	_
кой плотности аэрозоля)
Т. З. Зашакуев, В. К. Кремешков, Н. Н. Парамоно-	
ва, Н. А. Першина, А. И. Полищук, В. И. Привалов,	
А. А. Соломатникова, В. О. Тапасханов, А. М. Шаламянский. Обследование предполагаемых мест размещения гло-	
бальных (региональных) станций ГСА Приэльбрусье — Пик Терс-	
кол	2
В. В. Клинго, В. Н. Козлов. Влияние адсорбированного	
иона на плоском нерастворимом аэрозольном ядре на гетерогенную	
конденсацию водяного пара в облаках	3
А. В. Снегуров, В. С. Снегуров, А. В. Шаповалов,	
Г. Г. Щукин. Опыт совместных наблюдений за грозами грозо-	
пеленгатором-дальномером и метеорологическим радиолокатором . 139	9
А. В. Снегуров, В. С. Снегуров. К методике исследова-	
ния временных форм близких атмосфериков	•
Е. Г. Пискунова, А. В. Шаповалов. Численные экспери-	
менты по активному воздействию на туман кристаллизующим реа-	
TENTOM 158	2

Л. Н. Бычкова, В. И. Слуцкий. Метеорологическая дальность видимости при снегопадах по данным МРЛ в аэропорту Томск 168 А.И. Петров, Г. Г. Петрова, И. Н. Панчишкина. Экспериментальные исследования тока механического переноса
электрических характеристик приземного слоя
The control of the co
ના તાલા છે. પ્રત્યાનક યુક્કાન છે. પ્રાથમ જ માર્ચિક હો પ્રોપ્યાલય કરિયા છે.
് വുവാന് വരു വരുന്നു. അവും വരു പ്രവാഷ്ട്ര വരുന്നു വരുന്നു വരുന്നു വരുന്നു വരുന്നു. വരുന്നു വരുന്നു വരുന്നു വരു പൂട്ടി പ
 In the second of /li>
A LANGE OF THE STATE OF THE STA
🚉 🕠 💮 💮 💮 kan da araba kanga dan karing kan darah mungguna rakan dan garak
ලෙන් ුරුවල සම්බන්ධ සම්බන්ධ සම්බන්ධ විශාල සම්බන්ධ විශාල සම්බන්ධ විශාල සම්බන්ධ විශාල සම්බන්ධ විශාල සම්බන්ධ විශාල
i fra 1. vilanda na maja na kalenda je izma en dre uznemi sem tra izdenski delje
i de la
 अन्तर्भव क्षित्रकार अवस्ति । अन्तर्भव क्षित्रकार अनुविद्यां कुलाव व्यक्तिकार अवस्थित अन्य ।
on por la companya di mangantan d Mangantan di mangantan di mangan
a maga tida di Maria da Maria Maga tanggan da Maria da Mari
ම ප්රදේශය දුන්න සුදුන්නම යට දෙන දුන් දුන්න්න්න ගැන මැතිවීමට දුන්න නියාවට විට වැඩිවෙනි. මෙන් මෙන් මෙන් මෙන් සොහැන වෙන්න සුදුන් දින්න දුන්නේ මෙන්නේ මෙන්නේ නියාව ගත වෙන්නේ නියාව සිටිනේ දුන්නේ සිට මේ සිටින්නේ සිට මේ
ing the state of t
and the second of the second o
នេះ នៅមិន 108 នេះ (ខេត្តសភាពខ្លែងដែលមិន សំ នេះមួយប្រទេសសមានមានមាន A 🗛
า และ เมื่อเกาะ เมื่อเกาะ เมื่อเกาะ พ. การการการการเมื่อเมาะ เหมือน การเมื่อเมาะ ก็กำ เป็นเมาะ มีเมาะ เมื่อเมาะ
nggang sa tanggang palamang p Palamang palamang pa
ක්තර අතම අතුරුව වැඩි වැඩි වෙන්න අතුරුව වැඩි වෙන්න වෙන්න සිට ක්රමයක් වෙන්න වැඩි වෙන්න විශ්ය කාල වැඩි මුද්ධ අතුරුව දැක්වෙන් අතුරුව අතුරුව දැක්වෙන්න වෙන්න අතුරුව වෙන්න දිදි වෙන්න සිටි මෙන්නේ සිට සිටි මෙන්
and the Country of the supplier of the suppliner of the supplier of the supplier of the supplier of the suppli
The company of the co
्या 🗇 🖟 🗸 🖟 व प्राप्तकारी प्राप्तकारी प्राप्तकारी प्राप्तकारी प्राप्तकार अनुवासी प्राप्तकार अवस्थित अस्य स्थान
- Professional Company を表していている。Profession Action
्रकार । विकास १ मान्य प्राप्तिक विकास स्थान विकास विकास विकास विकास ।
the contract the contract of t
edeg words, when where it is not be a larger with the service of a week and a service of the ser
사람들은 사람들이 가장 살아왔다. 그는 일본 사람들이 가장 사람들이 가장 그렇게 되었다. 그 그 사람들이 다른 사람들이 살아왔다.



Уважаемые читатели!

Вы можете приобрести книги, выпускаемые ФГУП «Гидрометеоиздат», в интернет-магазине научно-информационного портала

GIMIZ.RU

Контактная информация:

тел/факс: (812) 352-08-15, 352-08-25

e-mail: gimiz@peterlink.ru

pr@gimiz.ru

Труды НИЦ ДЗА

Вышуск 7(555) по верхира водина не верхняхи

ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Редактор О. В. Лапина. Художник Л. А. Унрод. Технический редактор Н. Ф. Грачева. Корректор Г. Н. Римант.

ЛР № 020228 от 10.11.96 г.

Подписано в печать 18.05.06. Формат $60 \times 84^{1}/_{16}$. Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 12,5. Усл. печ. л. 11,63. Уч.-иэд. л. 11,71. Тираж 300 экз. Индекс 379/05.

Гидрометеоиздат. 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38. Официальный научно-информационный портал GIMIZ.RU Л. Г. Махоткин — вклад в геофизику (к 90-летию со дня рождения). Махоткина Е. Л. Труды НИН-ДЗА (филиал ГТО), 2006, вып. 7(555), с. 3—8.

Приводится обзор научной деятельности Л. Г. Махоткина в целом, описание основных направлений его работ. Подробно освещается его вклад в изучение радиационных процессов атмосферы и классическую актинометрию.

Note that the second control of the second o

TO Extra de la republicação de transfer do
a secondielica

agarta e Silegge e garaging en Exist

УДК 551.5

К проблеме доплеровских измерений в системе дистанционного обнаружения грозо- и смерчеопасных облаков. Щукин Г. Г., Тапасханов В. О., Шаповалов А. В. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2006, вып. 7(555), с. 9—29.

Рассмотрены вопросы разработки программно-математического обеспечения распознавания интенсивных атмосферных вихрей по данным доплеровских МРЛ для системы дистанционного обнаружения грозо- и смерчеопасных облаков в ЮФО.

Представлены алгоритмы анализа метеорологической информации по радиолокационным данным с использованием доплеровского канала, проанализированы методы цифровой обработки сигналов на базе сигнальных процессоров и архитектурно перепрограммируемых логических интегральных схем и возможности их применения в информационно-вычислительных комплексах МРЛ.

Ил. 3. Библ. 17.

Систематические погрешности обращения лидарных сигналов малой мощности. Егоров А. Д., Потапова И. А., Привалов Д. В. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2006, вып. 7(555), с. 30—34.

235.15% DW

Рассматривается проблема достоверности, с которой оптические характеристики атмосферы определяются по результатам измерений сигналов обратного рассеяния малой мощности. Случайные погрешности определения этих характеристик существенно зависят от алгоритмов, используемых для обработки измеряемых сигналов. Приемлемые алгоритмы для анализа лидарных данных базируются на новом строгом решении лидарного уравнения, включающего мощность фоновой засветки. Строгое решение было использовано для определения коэффициента ослабления атмосферы.

Для разработки лидарных методов было выполнено обращение эхо-сигналов, принятых в процессе зондирования однородной атмосферы из одной точки пространства. Был найден критерий однородности, применимый для компьютерного тестирования лидарных систем. С использованием данных эксперимента был выполнен анализ погрешностей определения искомых характеристик. Результаты анализа показали, что на основе нового строгого решения лидарного уравнения найдены эффективные алгоритмы обработки сигналов малой мощности. С другой стороны, небольшие систематические погрешности существенно влияют на результаты решения обратной задачи.

Ил. 2. Библ. 2.

YAK 551.594

Расчет электрических зарядов и полей в электроактивной зоне грозового облака. Морозов В. Н. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2006, вып.7(555), с. 35—50.

Приводятся результаты расчетов распределений с высотой плотности электрических зарядов на частицах крупы и ледяных облачных частицах и напряженности электрического поля, создаваемого этими частицами в электроактивной зоне грозового облака. Используется механизм электризации, основанный на столкновении с отскоком крупных ледяных частиц с мелкими ледяными частицами. Показана возможность генерации больших значений напряженности электрических полей в электроактивной зоне (> 1 кВ/см) в предгрозовой стадии развития облака.

Библ. 13.

УДК 551.594

Распределение электрического поля, создаваемого нестационарным током заряжения грозового облака в атмосфере с неоднородной электрической проводимостью. Морозов В. Н. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2006, вып. 7(555), с. 51—67.

A 18 (3.4)

EACH AND IN HALLE OF MICH. WHEN IN

วุธกรรมการสาวอยุเหมื่อได้สัมธุรษฐา เมษายกการ

a real is a Se

Представлены расчеты установления стационарного электрического состояния в атмосфере при включении нестационарного тока заряжения грозового облака. Показано существование двух стадий в процессе установления этого состояния, определяемых временем электрической релаксации вблизи земной поверхности. Даны оценки характерных времен, определяющих эти стадии изменения электрического поля, при действии тока заряжения грозового облака.

് അവരെ പ്രവാദ്യ പ്രത്യായ അവരെ ഇന്നെ വരെ പ്രവാദ്യ പ്രവാദ്യ പ്രത്യായില് പ്രവാദ്യ പ്രവാദ്യ പ്രവാദ്യ പ്രവാദ്യ പ്രവ പ്രവാദ്യ അവരെ പ്രവാദ്യ പ്രവാദ പ്രവാദ്യ പ്രവ

Библ. 13.

УДК 551.5

К взаимодействию молекулярных ионов естественной атмосферы с повержностью водяных капель. Клинго В. В., Козлов В. Н. Труды НИЦ ДЗА (филиал ТГО), 2006, вып. 7(555), с. 68—76

Рассматривается результат столкновения иона с поверхностью водяной капли. Вероятность положительного двухатомного однозарядного иона адсорбироваться (остаться на поверхности водяной капли) равна 0,61. С вероятностью 0,39 положительный ион при столкновении с каплей отразится от ее поверхности. Вероятность отражения отицательного однозарядного иона двухатомной молекулы $\mathbf{0}_2^{\mathsf{T}}$ от поверхности капли составляет 0,45, вероятность адсорбироваться — 0,48 и вероятность преодолеть скачок потенциала на поверхности и оказаться внутри капли — 0,07. Кинетика заряжения облачных капель искусственно образованными отрицательными ионами потребует особого рассмотрения.

Библ. 5.

ский А. М. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГТО), 2006, вып. 7(555), с. 122-132. валов В. И., Соломатникова А. А., Тапасханов В. О., Шаламянков В. К., Парамонова Н. Н. Першина Н. А., Полицук А. И., Приных) станций ГСА. Приэльбрусье — Пик Терскол. Защакуев Т. 8., Кремеш-Обследование предполагаемых мест размещения глобальных (региональ-

estable to the contract of

держания озона и УФР, химического состава атмосферных осадков. зрения требований ВМО компонентов: содержания парниковых газов, общего соты. В ходе обследования были произведены измерения наиболее важных с точки ры, обеспечивающей условия, необходимые для длительной и непрерывной рабосоте 3000 м, так же как на других станциях, проверялось наличие инфраструктука существенно ослаблено. Кроме того, на ст. Шик Терскол, расположенной на выстанции, расположенные в горах, где влияние биоты и жизнедеятельности человеискажена влиянием местных условий. Поэтому для обследования были выбраны ной концентрации парниковых газов, которая в наибольшей степени может быть тов в радвусе не менее 50 км. Прежде всего, это относится к измерениям приземти человека, а также отсутствие промышленных и других загрязняющих объекным станциям — минимальное влияние местных источников и стоков, деятельносзации длительных измерений на станциях ГСА. Основное требование к глобальниями ВМО к условиям наблюдений, к инфраструктуре, к возможностям органиной службы атмосферы ВМО. Обследование проводилось в соответствии с требовактов предполагаемого размещения глобальных (региональных) станций Глобаль-Представлены результаты обследования на ст. Пик Терскол — одном из цунhali, ทุกกุรโดยสมโดยสมเขาสโดยกรรมสมเสมเดิมสมเด

Gandraex cramina ICA. By a present of the second Tagn. 1. The second of ют без больших капитальных вложений начать наблюдения по программе глотствующей требованиям ВМО: Инфраструктура и условия наблюдений позволязов и других компонентов, если станция будет оснащена аппаратурой, соотвене могут обеспечить регулярную информацию о фоновом уровне парниковых га-Результаты обследования показали, что измерения на ст. Пик Терскол впол-

Козлов В. Н. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГТО), 2006, вып. 7(555), с. 133-138. япре на гетерогенную конденсацию воданого пара в облаках. Илинго В . В . . гличние эпсорбированного иона на плоском нерастворимом аэрозольном a per proutant crosse og form men in gen erheka mili boldbærthett (gigg) i i tilbakter. De mit fladerse

nga myakuwa an undawi wakawa asabama waki masi usosa. Undi sani 111 gund

्ष्यंत्र च स्थाप्तान् । स्थाप्तां क्रिकेट क्रिकेट प्राप्ता छन्। अन्यान्यः स्थाप्तान्यः अप्रार्थिकस्यः स्थितस्य

нию кэпече на плоском нерастворимом ядре в реальных облачных условиях пар — вода, но этот вклад слишком мал, чтобы принести к гетерогенному образовапри малых краевых углах в вероятность гетерогенного фазового перехода водяной духа на плоской поверхности зарозольной частицы, котя и вносит заметный вклад электростатическое поле ядеорбированного иона естественного этмосферного возтицах при наличии на их поверхности адсорбированных понов. Получено, что Рассматривается образование облачных капель на плоских аэрозольных час-

Bugn. 6.

-викет регулярных измерений ультрафиолеговой радиагодинать России. Тущий Т. П. М. Осконений России.

Приводится данные некоторых измерений естественной ультрафиолетовой радиации на сети мониторинга УФ радиации Ростидромета и результаты их краткого анализа. Рассчитаны и приведены коэфициенты коррелящии между некоторыми величинами УФ радиации, которые оказались близкими к 0,99. Предлочия с помощью ультрафиолетиетра при приеме ультрафиолетовой радиации в санаториях, фотариях, на пляжах и других местах с целью предотвращения передаторые ультрафиолетичения передаторые ультрафиолетичения передаторые ультрафиолетичения передаторые ультрафиолетичения передаторые установания передаторы передаторы установания передаторы и установания передаторы передато

.. Трудей НИЦ ДЗА (филивал ГТО), 2006, вып. 7(555), с. 77—105.

Tabel de la company de la comp

ANG PET PIO 1884 MANAY WELLENGE OF BREAKEN WELLENGE WELLENGE STEEL STEELENGE WELLENGE WELLENG

Ta6n. 2. Mn. 4.

Ультрафиолетовый озонный спектрометр. Измерения спектрального состава УФ радиации и оптической плотности атмосферного аэрозола. Привапов В. И., Шаламянский А. М., Соломатникова А., Гулидов С. С. Труды НИЦ ДЗА (филиал ITO), 2006, вып. 7(555), с. 106—121.

และ พ.ศ. 1960 การ พ.ศ. 1964 มหายาสาทางกระทำ พระสามารถ พระสะสมาส ค.ศ. 25 (วิทาก การสามาริกาศ การ

Рассмотрены возможности переоснащения озонометрической сети Росгидрометри приборами современного уровня, в том числе для внедрения памерения ультрафиолетовой радизации. Изложены требования ВМО к аппаратуре, предназначенной для измерения общего содержания озона (ОСО), ультрафиолетовой раначенной для измерения общего содержания озона (ОСО), ультрафиолетовой раначенной для измерения общего содержания озона (ОСО), ультрафиолетовой раныции (УФО) по оптической плотности втифосрерного азрозоля (ОПА) на мировой сети. Приведены разультаты избораторных и натурным созонами спектроных в водержания уметром (УФОС). Приведены разультаты опистных измерения уфР и ОПА, вппаратурой УФОС. Приведены разультаты опытных измерения в пос. Воейково и на Пике Терскол. Показано, что ультрафиолетовый озонный спектрометр соответствует современным требованиям ВМО к аппаратуре для измерения УФР и ветствует современным и пребосхания вти требования уфР и поряду позиций и превосходит эти требования.

УДК 551.594

Опыт совместных наблюдений за грозами грозопелентатором-дальномером и метеорологическим радиолокатором. Снегуров А. В., Снегуров В. С., Шаповалов А. В., Щукин Г. Г. Труды НИЦ ДЗА (филиал FГО), 2006, вып. 7(555), с. 139—148.

Paris in the comparison of the

D. 45 July 11 14

-86. **266** 15367

Рассмотрены данные совместных наблюдений за грозами метеорологическим радиолокатором МРЛ-5 и грозопеленгатором-дальномером. Предварительные данные обработки показали, что применение одного пеленгатора, совмещенного с МРЛ, не дает значительного эффекта. Увеличение эффективности наблюдений с помощью МРЛ-5 возможно при использовании высокоточных систем местоопределения грозовых разрядов, в ближней зоне до 80—100 км — однопунктовых грозопеленгаторов-дальномеров со специальной обработкой сигналов, в зоне до 200—300 км — многопунктовых систем местоопределения грозовых разрядов.

Табл. 2. Библ. 7.

УДК 551.594

К методике исследования временных форм близких атмосфериков. Снегуров А. В., Снегуров В. С. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГТО), 2006, вып. 7(555), с. 149—157.

Дано краткое описание аппаратуры, методики измерений и обработки данных по регистрации временных форм близких атмосфериков. Табл. 7. Библ. 7.

, hypothija ja jada populini in stronominosti u veet en indi

УДК 551.5

Численные эксперименты по активному воздействию на туман кристаллизующим реагентом. Пискунова Е. Г., Шаповалов А. В. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГТО), 2006, вып. 7(555), с. 158—167.

Работа посвящена численному анализу эффективности рассеяния переохлажденных туманов внесением искусственных кристаллов. Расчеты проведены с применением детальных уравнений микрофизики системы капель и ледяных кристаллов. В каждом варианте задавались характеристики тумана, метеорологические параметры и параметры источника ледяных частиц. На основе модели рассчитывалось изменение со временем концентрации и размеров капель и ледяных кристаллов, а также метеорологической дальности видимости. Приведены методика и некоторые результаты расчетов для источников искусственных ледяных частиц различной мощности.

Табл. 2. Библ. 13.

УДК 551.501.8

Метеорологическая дальность видимости при снегопадах по данным МРЛ в аэропорту Томск. Вычкова Л. Н., Слуцкий В. И. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2006, вып. 7 (555), с. 168—175.

Приводятся результаты комплексного анализа радиолокационной отражаемости и метеорологической дальности видимости (МДВ) при снегопадах, различных по виду и интенсивности, на основе материалов АМСГ Томск. В итоге представлены переводные таблицы, на входе которых — градации радиолокационной
отражаемости, а на выходе — градации МДВ с учетом вида снегопадов. Полученные результаты используются в оперативной работе метеорологического радиолокатора (МРЛ-5) для холодного и переходных сезонов года.

ralinger i kolonier godina i rojenjelover i rojen ostaliker o kolonistine o kolonisti i kolonisti i mesti

эм з **Библ. 7. Табл. 5.**

УДК 551.594

Экспериментальные исследования тока механического переноса. Петров А. И., Петрова Г. Г., Панчишкина И. Н. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2006, вып. 7(555), с. 176—181.

Приводятся результаты экспериментальных исследований плотности тока механического переноса и плотности тока проводимости в зависимости от высоты на берегу оз. Байкал и в с. Михайловка (Ростовской обл.). Рассчитывается суточный ход плотности тока механического переноса, величина которого сравнима по величине с плотностью тока проводимости.

Ил. 2. Библ. 4.

VIR 551:594 (4) of the second of the first second is received the second of the second

Физико-статистический анализ атмосферно-электрических характеристик приземного слоя. Петров А. И., Петрова Г. Г., Панчишкина И. Н., Кудринская Т. В. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2006, вып. 7(555), с. 182—190.

s chiung apasa Ab

TO THE ARTON HERE TO BEEN THE THE RECEIVED TO

12. 13 KM 5 KM

ดาการตั้งของเดิด การตัว เป็น เป็นเหลือของ และเกิดและเดิดที่ เป็น การตั้งตั้ง เป็น การตั้ง คือ เป็น เป็น เป็น เ

Приводятся результаты физико-статистических исследований полярных электропроводностей вблизи земной поверхности на территории Ростовской области. Построены эмпирические кривые распределения частот положительной и отрицательной электропроводностей, а также вертикальные профили этих величин.

Ил. 3. Библ. 12.