# Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

### ТРУДЫ ИНСТИТУТА ПРИКЛАДНОЙ ГЕОФИЗИКИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Е. К. ФЁДОРОВА

Выпуск 88

### 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Е. К. ФЁДОРОВА

### ПОСВЯЩАЕТСЯ



Москва 2010



# Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

### ТРУДЫ ИНСТИТУТА ПРИКЛАДНОЙ ГЕОФИЗИКИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Е. К. ФЁДОРОВА

Выпуск 88

### 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Е. К. ФЁДОРОВА

### ПОСВЯЩАЕТСЯ



Москва 2010

### УДК 550, 551, 556

Сборник содержит статьи молодых ученых Росгидромета, представлявшиеся на Конференции молодых ученых 16-18 ноября 2009 г. Конференция была посвящена 100-летию со дня рождения основателя Института прикладной геофизики академика Е. К. Фёдорова. Статьи сборника посвящены двум основным направлениям работ в учреждениях Росгидромета: гелиогеофизике, гидрометеорологии и охране окружающей среды.

Сборник представляет интерес для специалистов, работающих в различных областях солнечно-земной физики, гидрометеорологии, охраны окружающей среды.

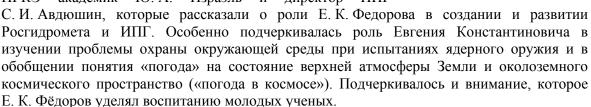
### ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

ия акадел

С 16 по 19 ноября 2009 г. в Институте прикладной геофизики прошла конференция молодых ученых Росгидромета. Конференция была посвящена предстоящему в апреле 2010 года 100-летию со дня рождения Героя Советского Союза академика Е. К. Фёдорова.

Конференция проводилась в новом конференц-зале ИПГ, где были установлены живописный портрет Евгения Константиновича, макет дрейфующей станции «Северный полюс 1», труды Е. К. Фёдорова и другие артефакты.

На открытии конференции выступили директор ИГКЭ акалемик Ю. А. Израэль и директор ИПГ



С воспоминаниями об отце выступила дочь Е. К. Фёдорова – Ирина Евгеньевна. О детских годах Е. К. Фёдорова, проведенных в Нижнем Новгороде, рассказала пресссекретарь Верхне-Волжского УГМС Светлана Фатиховна Лукутина. В перерывах между заседаниями в зале непрерывно демонстрировались документальные кинофильмы о Папанинской эпопее.

На конференции было представлено 29 устных и 9 стендовых докладов молодых ученых из 9 учреждений Росгидромета. Как подчеркивалось на закрытии конференции, тематика подавляющего большинства докладов соответствовала двум направлениям (охрана окружающей среды и космическая погода), в становление и развитие которых в Гидрометслужбе и Институте прикладной геофизики Евгений Константинович внес наибольший вклад.

Кроме молодых ученых на конференции присутствовали также ведущие специалисты ИПГ и других институтов Росгидромета. По общему признанию уровень докладов, как с точки зрения полученных научных результатов, так и по качеству их представления, был очень высок. Жюри конференции отметило почетными грамотами 9 докладчиков из ИПГ, ААНИИ, ИГКЭ и Гидрометцентра.

\*\*\*

Данный сборник содержит доклады, представленные на описанной выше конференции. Традиция посвящать очередной выпуск «Трудов ИПГ» материалам, доложенным на предыдущей конференции молодых ученых, восходит к первой конференции 1972 г. Подготовка и публикация статей на основе сделанных докладов, вопервых, дает молодым ученым опыт написания и правильного оформления научных статей и, во-вторых, обеспечивает им полноценный вклад в список публикаций, который понадобится им в дальнейшем.

Как уже отмечалось выше, доклады на конференции можно грубо разделись на две части — посвященные гелиогеофизике (или, как теперь чаще говорят - Космической погоде) и проблемам гидрометеорологии и охраны окружающей среды. Поскольку в конференции принимали участие молодые ученые из различных учреждений Росгидромета, в докладах рассматривались весьма разные аспекты двух указанных крупных проблем. Поэтому читателю не следует ожидать всестороннего и последовательного освещения этих обширных проблем — доклады затрагивают лишь отдельные конкретные

(иногда небольшие, иногда более обширные) вопросы. Это справедливо особенно для второй части сборника, поскольку круг задач решаемых Росгидрометом в области изучения климата, погоды, загрязнения атмосферы и водоемов, экологического нормирования, атмосферного электричества, структуры и динамики атмосферных слоев и т.д., очень широк, а организаторы конференции хотели предоставить возможность выступить с докладами как можно большему числу молодых ученых из различных учреждений Росгидромета.

Статьи, посвященные проблемам космической погоды, охватывают вопросы, которые, прежде всего, важны для дальнейшего развития гелиогеофизических служб, функционирующих в Институте прикладной геофизики.

Одной из важнейших функций указанных служб является обеспечение потребителей текущей информацией и прогнозами состояния ионосферы и условий распространения радиоволн. И не случайно семь статей настоящего сборника посвящены именно этим вопросам. Они затрагивают разные аспекты этой обширной проблемы – поведение сигнала кругосветного эха при распространении КВ радиоволн, оценка полного электронного содержания в ионосфере с помощью приема сигналов навигационных спутников, долговременные тренды критической частоты ионосферного слоя F2, коррекция международной справочной модели IRI, сверхдальнее распространение КВ радиоволн в ионосферном канале.

В других докладах по проблематике космической погоды рассматриваются оценки концентрации молекулярного кислорода в средней ионосфере по измерениям на спутнике «КОРОНАС-Ф», краткосрочное прогнозирование солнечной активности, оценки потоков релятивистских электронов во внешнем радиационном поясе, электрический потенциал высокоширотной ионосферы, определение ориентации геостационарного спутника «Электро». Этот краткий перечень показывает, что подготовка научных кадров ведется по основным принципиальным направлениям исследований космической погоды – солнечная активность, магнитосфера, ионосфера, нейтральная атмосфера, что, конечно, очень важно для продолжения и дальнейшего развития работ по гелиогеофизике в ИПГ и других учреждениях Росгидромета.

Поскольку тематика работ, проводимых в учреждениях Росгидромета, приславших своих молодых ученых на конференцию, весьма обширна, соответственно, очень широкий круг вопросов рассматривается и в представленных в сборнике статьях, которые мы объединили во вторую часть — гидрометеорология и охрана окружающей среды. Здесь и последствия Чернобыльской катастрофы, и выбросы парниковых газов, и моделирование стоков рек, и система регистрации гроз и другие конкретные вопросы. Объединяет все эти работы одно важное обстоятельство — они выполнены молодыми учеными и (в основном) подготовлены на хорошем научном уровне. Выяснить последнее обстоятельство как раз и являлось главной целью конференции.

Не вдаваясь в детали конкретных научных вопросов, которым посвящены эти статьи, отметим лишь некоторые моменты, которые, как нам кажется, характеризуют сегодняшний подход к различным (в том числе – и классическим) проблемам гидрометеорологии.

Одним из таких моментов является активное использование возможностей современной компьютерной техники, позволяющей создавать и использовать сложные алгоритмы оценок, контроля и мониторинга различных экосистем.

Вторым моментом является использование в практической работе многопараметрических математических моделей различных метеорологических и гидрологических процессов и сложных экосистем. Последнее, естественно, связано с упомянутым выше использованием современной вычислительной техники.

Третьим моментом является применение новых технических средств (комбинация радиолокатор - наземная сеть измерений осадков, лидар для измерения атмосферного аэрозоля и другие).

В целом статьи сборника, не претендуя, как уже говорилось, на охват всего обширного поля научной деятельности Росгидромета, дают, как нам представляется, хорошие примеры научных работ молодого поколения ученых на самых разных участках этого поля. И здесь, как и в случае с гелиогеофизическими исследованиями, видно, что подготовка молодых кадров успешно идет в учреждениях Росгидромета по самым разным направлениям его деятельности.

Организаторы конференции считают, что последняя уже принесла большую пользу и всем ее участникам, и Росгидромету в целом. Будем надеяться, что издание этого сборника (как завершающий штрих конференции) также будет полезно многим, а сам сборник займет достойное место в библиотеках учреждений Росгидромета. Мы надеемся также, что выпуск этого сборника, как и проведение самой конференции, явятся небольшим, но важным вкладом в цикл мероприятий, посвященных празднованию юбилея Евгения Константиновича Фёдорова, имя которого носит наш Институт.

Профессор А. Д. Данилов

### ЕВГЕНИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ ФЁДОРОВ

Евгений Константинович Фёдоров — выдающийся ученый-геофизик, известный полярник, руководитель гидрометеорологической службы, академик, государственный и общественный деятель. Герой Советского Союза.

Родился Евгений Константинович Фёдоров 10 апреля 1910 года в городе Бендеры в Молдавии. Отец Евгения Константиновича — Фёдоров Константин Николаевич кадровый русский офицер, младший офицер Бендерской крепости, которого судьба забросила в этот молдавский городок, женился на местной девушке - Сабине Акимовне Георгиевой. Позднее отца перевели на новое место службы во Владивосток. Во время Первой мировой войны отец был несколько раз ранен и в конце 1916 года переведен в тыл в Нижний Новгород. После демобилизации отец работал счетоводом Верхне-Волжского речного пароходства, а мать всю жизнь проработала на швейной фабрике.

В 1916 году, когда семья переехала в Нижний Новгород, Евгений Федоров стал учиться в опытно-показательной школе при Нижегородском педагогическом институте. Жажда знаний побудила Евгения овладеть английским языком на вечерних курсах. Притягивала его и радио-лаборатория в Нижнем Новгороде, при которой создалось общество радиолюбителей, и Евгений стал посещать его, сумев через некоторое время самостоятельно собрать ламповый приемник. По окончании школы в 1927 году он работает техником в магазине радиотоваров. Эта работа была сопряжена с поездками по области, где надо было устанавливать радиоприемники в избах-читальнях, в то время шла радиофикация всей страны.

В 1927 году юный Евгений Фёдоров закончил школу и отправился в Ленинград получать высшее образование.

Пока у него не было конкретного желания, в какой институт поступать и какую выбрать специальность, он просто хотел стать инженером, так как он интересовался техникой, был радиолюбителем и хотел работать среди нетронутой природы. Поэтому, приехав в Ленинград, он попытался поступить в Институт инженеров путей сообщения, потом в Политехнический институт, потом в Электротехнический институт. Но каждый раз он не сдавал один из предметов.

Однажды, когда Евгений зашел в здание Университета, он обратил внимание на размещенные на стенах объявления, адресованные студентам практикантам.

Объявления содержали много интересной информации для студентов: одним предлагалось сдать полевое обмундирование и аппаратуру, других извещали о семинарах по результатам полевых работ, третьим предлагалось расписание занятий, в которых фигурировали такие дисциплины, как физика, математика, электронная техника, и другие инженерные дисциплины. Он понял, что именно здесь, где точные науки применяются к познанию явлений природы, лежит его путь. Он вернулся домой, и в следующем 1928 году уже обдуманно и уверенно поступил на физический факультет Ленинградского государственного университета, выбрав своей специальностью геофизику.

Уже после первого курса Евгений Константинович поехал в первую самостоятельную экспедицию на Северный Урал для выполнения геомагнитной съемки. По результатам этих работ в «Бюллетене Генеральной магнитной съемки» была опубликована его первая научная статья.

После окончания Университета Е. К. Фёдоров был направлен во Всесоюзный Арктический институт в Ленинграде, который являлся штабом советского национального комитета 2-ого Международного полярного года. В числе других молодых специалистов Е. К. Фёдорова направили на работу в обсерваторию в бухте Тихой на Земле Франца-Иосифа, начальником которой был И. Л. Папанин.

В апреле-мае 1933 года Е. К. Фёдоров с каюром совершил дальний поход по льдам проливов Земли Франца-Иосифа. По пути следования он выполнял маршрутные, магнитные измерения. Он провел полуинструментальную топографическую съемку

астрономическими методами еще не нанесенного на карты архипелага с определением координат пунктов. Некоторые результаты этих работ послужили основой для первых серьезных научных публикаций.

В 1934 году было решено расширить полярную станцию, а по существу построить заново полярную станцию на мысе Челюскин на полуострове Таймыр. Начальником был назначен незаменимый в таких мероприятиях И. Д. Папанин. Он пригласил некоторых своих соратников по работе на Земле Франца-Иосифа, в том числе и Евгения Фёдорова с женой.

Кроме стационарных магнитных наблюдений, Е. К. Фёдоров решил провести магнитную съемку полуострова Таймыр. Магнитные и гидрологические измерения, топографическая съемка, определение координат пунктов в районах Таймыра в чрезвычайно трудных условиях обогатили экспедиционный опыт Е. К. Фёдоров, закалили его физически и морально. В это время были заложены основы изучения магнитного поля Земли, и связь магнитного поля с деятельностью Солнца, с полярными сияниями.

О дрейфующей станции на льду вблизи Северного полюса Земли Е. К. Фёдоров узнал от И. Д. Папанина еще в 1935 году по возвращении с Таймыра. Предполагалось, что дрейфующая станция в районе Северного полюса могла бы давать прогнозы погоды на середине пути планировавшихся тогда трансарктических перелетов из СССР в США, а так же и для прогнозов по трассе Северного морского пути. Нашлись и энтузиасты-исполнители этой идеи: И. Д. Папанин, О. Ю. Шмидт, тогдашний начальник ГУСМП летчик М. В. Водопьянов.

И. Д. Папанин предложил должность геофизика экспедиции Е. К. Фёдорову. Вторым ученым был Петр Петрович Ширшов — опытный полярник, морской биолог, совершивший в 1932-1934 годах несколько сквозных рейсов по трассе СМП на «Сибирякове», ледорезе «Литке», участник трагического рейса «Челюскина». Радистом стал Эрнст Теодорович Кренкель, тоже известный к тому времени полярник, радист в экспедициях на дирижабле «Граф Цеппелин», участник челюскинской эпопеи. Начальником экспедиции назначен был О. Ю. Шмидт.

Для жизни и работы на льду пришлось все конструировать и изготавливать заново, начиная от палатки и кончая приборами.

Экспедиция вылетела из Москвы 22 марта 1937 года на четырех самолетах ТБ-3. Далее по маршруту следовали Холмогоры, Нарьян-Мар, остров Рудольфа. На острове Рудольфа в течение месяца совершались разведывательные полеты к полюсу. Ожидалась погода. 21 мая погода оказалась подходящей, и машина Водопьянова вылетела к полюсу. В 11.35 самолет совершил посадку на мощной льдине вблизи Северного полюса. Через несколько дней прилетели другие самолеты. 6 июня состоялось торжественное открытие станции, а 7 июня все самолеты улетели.

Е. К. Фёдоров вел регулярные магнитные и гравиметрические наблюдения, определял астрономическим способом координаты станции, помогал товарищам в других трудоемких наблюдениях, участвовал в общих бытовых и хозяйственных работах. Дрейф длился 274 дня. 14 февраля ледоколы «Таймыр» и «Мурман» подошли к обломку, оставшемуся от некогда мощной льдины, на котором ждали помощи полярники, и сняли героическую «четверку».

Научные достижения и самоотверженный труд папанинцев были высоко оценены советским Правительством, советской и международной научной и культурной общественностью. Им присвоили почетные звания, их избирали в различные общественные и научные организации. За проявленный героизм Папанину И. Д., Кренкелю Э. Т., Ширшову П. П. и Фёдорову Е. К. были присвоены звания Героев Советского Союза со вручением орденов Ленина.

Е. К. Фёдоров вернулся в Ленинград в Арктический институт, где продолжил обработку и подготовку к печати трудов дрейфующей станции. В 1939 году был репрессирован Р. Л. Самойлович, много лет бывший директором ААНИИ. Директором

института был назначен Е. К. Фёдоров, однако в том же году его перевели в Москву на пост начальника Главного управления Гидрометеорологической службы при Совете Народных Комиссаров СССР (Гидрометслужбу).

Е. К. Фёдоров быстро разобрался в сложном хозяйстве Гидрометеорологической службы, и умело руководил ее разнообразной деятельностью. Активно продолжалось строительство гидрометеорологических станций и постов, многие из которых были построены в труднодоступных местах, были организованы центры сбора гидрометеорологической информации и прогнозов, расширялась сеть аэрологических станций. Было запланировано создание заводов для производства гидрометеорологических приборов, в том числе и для новых приборов. В службе прогнозов началось составление карт барической топографии, что повышало надежность прогнозов погоды. Разрабатывался перспективный план развития сети станций и постов.

Началась война, и в первые же дни войны перед работниками Гидрометеорологической службы, как и перед всеми советскими людьми, встал вопрос: как дальше организовать и вести свою работу. Подразделения гражданской гидрометеорологической службы находились в основном в составе Главного управления Гидрометеорологической службы при Совете Народных Комиссаров. Они включали в себя республиканские и местные (в РСФСР) управления гидрометеорологической службы, в ведении которых находились наблюдательные гидрометеорологические станции, бюро погоды, авиационные метеорологические станции в аэропортах ГВФ, различные вспомогательные подразделения и небольшое число научно-исследовательских институтов: Главная геофизическая обсерватория, Государственный гидрологический институт, институт экспериментальной метеорологии в Ленинграде, институт земного магнетизма, незадолго до этого организованные Центральный институт погоды и Центральная аэрологическая обсерватория. В составе службы находились три маленьких завода в Москве, Харькове и Тбилиси, выпускающих гидрометеорологические приборы, два высших учебных заведения: Московский и Харьковский гидрометеорологические институты и два техникума в Москве и Ленинграде. Нужды Вооруженных Сил обеспечивали две организации -Метеорологическая служба Военно-Воздушных Сил и Гидрометеорологическая служба Военно-Морского флота.

Метеорологическая служба BBC обеспечивала прогнозами погоды также сухопутные войска штабы общевойскового командования.

Надо отметить, что в военный период сеть наземных наблюдательных станций была по существу единственным источником получения информации о состоянии атмосферы и водных объектов.

Далее, вся структура подразделений метеослужбы ВВС и гидрометеослужбы ВМС была приспособлена главным образом для действий отдельных частей. Их центральные органы, находившиеся при штабах крупных соединений, были относительно невелики и зачастую не могли обеспечить надлежащей информацией планирование стратегических операций огромного масштаба, из которых стали складываться военные действия с первых же недель войны.

С другой стороны, стало ясно, что небывалый масштаб действий наземных войск, огромные пространства, охватываемые военными операциями, их длительность, разнообразные погодные условия на театре военных действий требовали учета гидрометеорологической обстановки также и в наземных войсках. Следовало организовать гидрометеорологическое обеспечение наземных войск. Все эти задачи можно было решить проще и, скорее всего путем полной военизации всей гражданской гидрометеорологической службы.

Потребовалось очень немного времени для того, чтобы учесть все эти обстоятельства и подготовить соответствующие предложения. Уже в июле 1941 года Главное управление Гидрометеорологической службы со всеми своими подразделениями было включено в состав Вооруженных Сил страны.

В состав Главного управления Гидрометеорологической службы Красной Армии, каким стало преобразованное Главное управление ГМС при СНК СССР, вошли на правах управлений центральные подразделения метеорологической службы Военно-Воздушных Сил и гидрометеорологической службы Военно-Морского Флота. Начальники этих двух управлений стали по должности заместителями начальника Главного управления Гидрометслужбы Евгения Константиновича Федорова.

Начальник Главного управления Гидрометслужбы Красной Армии был подчинен начальнику Генерального штаба.

Серьезные задачи встали сразу же перед сотрудниками Главного управления и его учреждений, в большинстве своем гражданскими людьми. Поставленные задачи решались в сложной обстановке первых месяцев войны. Несмотря на сложности и осложнения, уже в конце 1941 года деятельность Службы была перестроена и ориентирована на обеспечение фронта. Все подразделения в воинских частях сформировались и начали свою работу. Организация Службы в частях ВВС и Военно-Морском Флоте существенно не изменилась. Однако все подразделения ее были значительно укреплены за счет гражданских бюро погоды, гидрометеорологических обсерваторий морских управлений Гидрометслужбы.

В наземных войсках подразделения Службы, обеспечивающих подготовку всесторонней гидрометеорологической информации, были созданы в штабах фронтов и армий. При штабах полков имелись метеорологи, которые вели простейшие метеорологические и гидрологические наблюдения и могли принять и доложить командиру прогноз погоды.

Как известно, к зиме 1941/1942 годов советские войска были вынуждены оставить территорию западной части России, и на всем громадном пространстве от линии фронта до Британских островов не было ни одной метеостанции, сводки которой можно было бы использовать.

Было налажено получение и использование при синоптическом анализе наблюдений экипажей самолетов как наших, так и союзных, выполнявших боевые операции над территорией, занятой противником. В особо ответственных случаях проводились специальные полеты для разведки погоды боевыми самолетами. Поставщиками метеорологической информации были также партизаны и разведчики. В результате всех этих мер вскоре на каждой синоптической карте между линией фронта и Британией можно было увидеть 5-7 метеосводок.

Множество новых задач пришлось решать традиционным, давно существующим и имевшим немалый опыт, гидрометеорологической службе ВВС и гидрометеорологической службе Военно-Морского Флота.

Организация службы в наземных войсках позволила перейти от отдельных примеров умелого использования гидрометеорологической обстановки к нормально действующей системе. Основываясь на информации о состоянии погоды и водных объектов, собираемой постами на самом театре действий, на прогнозах погоды гидрологического режима, даваемых центральными и фронтовыми органами Службы, командование назначало время намеченных операций и уточняло их характер.

Конструкторы продолжали разработку различных приборов, предназначенных для армейских условий. Еще перед войной были созданы первые автоматические метеорологические станции. Во время войны конструкторы разработали вариант станции, которую можно было сбрасывать с самолета в тылу противника. Приземлившись на парашюте, она автоматически разворачивалась и начинала в определенные сроки передавать по радио простейшие данные о погоде.

Ставка Верховного главного командования, Генеральный штаб, штабы войск предъявляли серьезные требования и вместе с тем относились с большим вниманием ко вновь организованной гидрометеорологической службе. Это позволило ей быстро

развернуть средства связи, транспорт и создать свою техническую базу, необходимую для обеспечения армии.

Как известно, перед войной только начиналось широкое применение радиозондов, и большая часть информации о состоянии верхних слоев атмосферы добывалась с помощью подъема наблюдателей и приборов на легких самолетах. В последний период войны командованием были выделены службе самолеты, которые можно было переоборудовать в летные лаборатории для метеорологических исследований и небольшое количество транспортных самолетов.

Для освобожденных территорий управления Гидрометслужбы, наблюдательные станции и радиометеорологические центры создавались подвижными и формировались заблаговременно в тылу. Они передавались наступавшему фронту и, как только занималась территория, немедленно разворачивались на местности, сначала станции, а затем и управления. Принятая система позволяла открывать станции буквально сразу после освобождения соответствующих, заранее намеченных пунктов. Весь сбор и распространение метеосводок в этих условия, естественно, опирался на радиосвязь.

После выхода наших войск за рубежи государственной границы работа по созданию территориальных организаций Гидрометслужбы продолжалась таким образом: создавались временные фронтовые управления на территориях, освобождаемых нашими войсками, а затем оказывалась помощь при создании национальных метеорологических служб в каждой освобожденной стране. И эта последняя задача Гидрометеорологической службы Советской Армии была также успешно решена в течение немногих послевоенных лет.

Опыт войны показал правильность включения Гидрометеорологической службы на военное время в состав действующей армии. Об этом говорят хорошие результаты обеспечения гидрометеорологической информацией действий наших войск, об это свидетельствуют награды и звания, полученные работниками Службы во время Великой Отечественной войны.

Евгений Константинович Федоров закончил войну в звании генерал-лейтенанта, он являлся единственным руководителем Гирометеорологической службы во время войны. В этой перестройке и создании заново многих разделов и направлений деятельности Гидрометеослужбы во время Великой Отечественной войны проявился талант Е. К. Фёдорова как организатора и генератора идей.

После окончания войны, в 1946 году Главное управление Гидрометслужбы вместе со всеми его подразделениями было выделено из состава Министерства обороны и вновь передано в непосредственное подчинение Правительства СССР.

Начался перевод Гидрометеослужбы на мирные рельсы. Был обсужден и принят план развития и размещения сети станций и постов, разработанный еще в канун войны, были разработаны и классификация сети, типовые табели оборудования, штаты. В ГГО и ЦАО начались исследования воздействий на погоду, создавались экспериментальные базы при ГГИ, ГГО, ЦАО.

Но в августе 1947 года по ложному доносу Е. К. Фёдоров был снят с должности. Разжалован в рядовые (он имел воинское звание генерал-лейтенанта) и предан суду чести за «антипатриотические и антигосударственные поступки». Суд чести объявил Е. К. Фёдорову выговор за разрешение передачи за границу некоторых научных трудов и сведений и за плохой контроль иностранного отдела службы.

И генерал-лейтенант, Герой Советского Союза СССР, член-корреспондент АН СССР, делегат Всемирной Конференции демократической молодежи, глава советской делегации на международной метеорологической конференции в Женеве, лауреат Сталинской премии становится рядовым и заведующим лабораторией атмосферного электричества Геофизического института.

С присущей ему энергией, несмотря на разразившуюся катастрофу, Е. К. Фёдоров взялся за восстановление Эльбрусской комплексной высокогорной экспедиции. Первые

годы летом и зимой жили в палатках, но полевые наблюдения неукоснительно выполнялись, и даже был разработан новый метод исследования ионного спектра в атмосфере. Е. К. Фёдоров выдвинул идею поиска научно обоснованного метода воздействия на процессы облакообразования для стимуляции выпадения из них жидких и твердых осадков, реализация которых могла принести огромные выгоды народному хозяйству страны.

К 1952 году были созданы постоянные исследовательские базы и метеостанции: Приют Одиннадцати, Ледовая База, Пик Терскол и сама обсерватория Эльбрус, кроме того параллельные исследования и наблюдения велись в Нальчике. Кроме физических свойств облаков экспедиция вела исследование физических свойств снега, и, по существу, были начаты снеголавинные исследования. В 1952 году приказом директора Геофизического института Е. К. Фёдоров был назначен начальником Геофизической комплексной экспедиции, в которую Эльбрусская экспедиция входила как структурное подразделение. Так как работа в Приэльбрусье была налажена, были подготовлены преемники, он стал реже бывать на Кавказе, другие экспедиции тоже требовали его внимания.

В 1956 году Геофизический институт разделился на Институт прикладной геофизики (ИПГ), Институт физики атмосферы (ИФА) и Институт физики Земли (ИФЗ). Е. К. Фёдоров был назначен директором ИПГ. В этом же году Эльбрусская экспедиция была реорганизована в Кабардино-Балкарское отделение ИПГ, а потом в Высокогорный геофизический институт — научный центр по изучению физики облаков и осадков, физических свойств снега, шельфового льда, слей, оползней, лавин. На основе фундаментальных теоретических исследований был разработан метод воздействия на градовые процессы с помощью внесения в градовые облака специальных реагентов ракетами, за что в 1969 году группа ученых Гидрометеослужбы, в то числе Е. К. Фёдоров, была представлена к Государственной премии.

В 1958 году начались переговоры о прекращении испытаний ядерного оружия. По предложению И. В. Курчатова руководителем советской делегации был назначен Е. К. Фёдоров. Занимаясь много лет прикладными вопросами геофизики, он был в этом комплексе проблем наиболее подготовленным ученым. Е. К. Фёдоров выступил с докладом, который касался вопросов выработки рекомендаций по организации системы контроля наблюдений за ядерными взрывами в разных средах. Но женевские переговоры зашли в тупик и в 1962 году были прекращены. СССР предложил договор о запрещении испытаний в атмосфере, космосе и под водой, и этот договор был подписан в 1963 году, чему в немалой степени способствовали разработки, научные доказательства и другие результаты работы группы экспертов в 1958-1959 годах под руководством Е. К. Фёдорова.

В 1960 году Е. К. Фёдоров становится действительным членом АН СССР – академиком и избирается Главным ученым секретарем АН СССР, а в 1962 году он назначается начальником Главного управления Гидрометеослужбы при Совете Министров СССР (ГУГМС при СМ СССР).

В 1963 году Е. К. Фёдоров добился перевода ИПГ с филиалом в Обнинске, Высокогорного института в городе Нальчике, Государственного химического института в Новочеркасске из области ведения АН СССР в ГУГМС, туда же из Минморфлота был переведен ААНИИ. Таким образом, был серьезно увеличен научный потенциал ГУГМС.

Были выполнены специальные исследования с целью выяснения достаточности существующей сети станций для обеспечения необходимой информацией прогностических органов службы и требований народного хозяйства. В результате выяснилась недостаточность сети на Крайнем Севере, в Средней Азии и на Дальнем Востоке. Однако строить станции в труднодоступных местах дорого. Единственным выходом было использование метеорологических локаторов, искусственных спутников Земли, автоматических станций. Уже в 1963 году в ЦИП начал применяться анализ фотографий спутников. Опираясь на эти данные, Е. К. Фёдоров добился создания и запуска специальных

метеоспутников «Космос-144» и «Космос-156». Они вместе с наземными комплексами составили спутниковую систему «Метеор». Стала широко применяться авиация: ледовая разведка распространялась на дальневосточные моря и Балтику, стали широко использоваться самолеты-лаборатории для авиаразведки запасов воды в снежном покрове, авиаразведки состояния посевов и растительной массы и т.д.

Была разработана и утверждена генеральная схема комплексной автоматизации службы. Цель — сбор в Москве гидрометеорологической информации со всего Северного полушария максимум через три часа после срока наблюдения погоды. Революционным нововведением в службе прогнозов явилась передача готовых карт из гидрометеорологических центров в разные прогностические ячейки, что сразу ликвидировало кропотливый и трудоемкий этап сбора информации и нанесение ее на карты.

Е. К. Фёдоров принимал самое активное участие в разработке и осуществлении плана создания Всемирной службы погоды, утвержденного 5 конгрессом ВМО, вицепрезидентом которой он являлся. Было создано три категории метеорологических центров: мировые, осуществляющими между собой обмен данными, региональные и территориальные. Произошло изменение принципов сбора и обработки гидрометеорологической информации для изучения климата, составления справочников, СНИП, обзоров. Стали применяться средства автоматизированной и электронной вычислительной техники.

Е. К. Фёдоров был инициатором расширения морских и океанских исследований ГУГМС. Для исследований в морях был построен специальный научно-исследовательский флот, состоящий из разных типов научно-исследовательских судов: четыре судна типа «Профессор Визе», восемь судов типа «Пассат», пять судов типа «Академик Шулейкин», шесть судов типа «Рудольф Самойлович», семь судов типа «Вадим Попов», научно-исследовательский ледокол «Отто Шмидт», научно-экспедиционное судно «Михаил Сомов» и другие суда. Исследования проводились в арктических, антарктических, тропических водах и в водах умеренных широт по национальным и международным научным программам по широкому комплексу дисциплин, в том числе по ракетному зондированию верхней атмосферы и тропосферы.

Большое значение Е. К. Фёдоров придавал обобщению деятельности ГУГМС. Он писал научно-популярные книги, публиковал статьи в газетах и журналах, часто выступал с лекциями перед широкой аудиторией.

В 1974 году Е. К. Фёдоров был вновь избран депутатом Верховного Совета СССР, заместителем председателя Советского комитета защиты мира и членом бюро Всемирного Совета Мира. В 1974 году Е. К. Фёдорова подал заявление об отставке с просьбой оставить за ним ИПГ, и эта просьба была удовлетворена.

В начале 70-х годов ряд ученых начали обсуждение проблемы дальнейшего развития человечества. Е. К. Фёдоров все более включался в это обсуждение. Он опубликовал две книги: «Взаимодействие общества и природы» и «Экологический кризис и социальный прогресс». В этих работах он рассматривает будущее человечества в оптимистическом духе, видя его в гармоническом взаимодействии с природой и окружающей средой.

В 1979 году Е. К. Фёдоров возглавил советскую делегацию на первой Всемирной конференции по климату и был одним из главных докладчиков. По его инициативе был принят важный документ — «Призыв к нациям», предупреждавший народы мира о возможных катастрофических последствиях изменения климата Земли в связи с военной и промышленной деятельностью.

В 1980 году Е. К. Фёдоров был включен в состав делегации СССР на 35 сессию Генеральной Ассамблеи ООН, в повестке дня которой, стоял вопрос об исторической ответственности государств за сохранение природы Земли. Из исследований ИПГ следовало, что многие вредные воздействия на природную среду распространяются далеко за пределы государства загрязнителя. Он выступил с докладом о глобальных

проблемах окружающей среды: о вырубке тропических лесов, об ухудшении плодородия почв, об опустынивании земель, загрязнении атмосферы, океана, вод суши.

СССР предложил провозгласить историческую ответственность государств за сохранение природной среды для нынешнего и будущего поколений. Резолюция была принята большинством голосов.

Это выступление было одним из последних актов государственной деятельности Е. К. Фёдорова, оно воплотило его личные научные исследования.

Е. К. Фёдоров имеет звание Героя Советского Союза, награжден 6-ю орденами Ленина, орденом Октябрьской революции, орденом Кутузова II ст., 2-мя орденами Трудового Красного Знамени, медалями. Лауреат Сталинской (1946) и Государственной (1969) премий СССР. Почетный гражданин городов Обнинска и Бендер.

Евгений Константинович Фёдоров прожил интересную, творческую жизнь, в которой надежным тылом была его семья: жена — Анна Викторовна Гнедич, дочь — Ирина Евгеньевна, сыновья — Евгений Евгеньевич и Юрий Евгеньевич.

Умер Е. К. Фёдоров 30 декабря 1981 года. Е. К. Фёдоров похоронен на Новодевичьем кладбище в Москве. Имя Е. К. Фёдорова присвоено Институту прикладной геофизики в Москве, одной из улиц Москвы, и одной из центральных улиц города Бендеры (1982), площади и соревнованиям по лыжным гонкам в Обнинске, полярной станции на мысе Челюскин (1983), научно-экспедиционному судну Росгидромета (1987), премии Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за лучшие научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, имеющие большое научное и практическое значение для Росгидромета (2002).

### ТОРЖЕСТВЕННОЕ ОТКРЫТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ РОСГИДРОМЕТА, ПОСВЯЩЕННОЙ 100-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА Е. К. ФЁДОРОВА



Слева направо: д.ф.-м.н., профессор, зав. отд. ГУ ИПГ Данилов А. Д.; доцент Дипломатической академия МИД России Фёдорова И. Е.; академик РАЕН, д.т.н., профессор, директор ГУ ИПГ Авдюшин С. И.; академик РАН, д.ф.-м.н., профессор, директор ГУ ИГКЭ Израэль Ю. А.



Доцент Дипломатической академии МИД России, Фёдорова Ирина Евгеньевна



Д.ф-м.н., профессор, зав. отд. ГУ ИПГ, Данилов Алексей Дмитриевич



Пресс-секретарь Верхнее-Волжского УГМС Лукутина Светлана Фатиховна

# УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ РОСГИДРОМЕТА, ПОСВЯЩЕННОЙ 100-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА Е. К. ФЁДОРОВА



Васильев А. Е. ГУ ИПГ, г. Москва



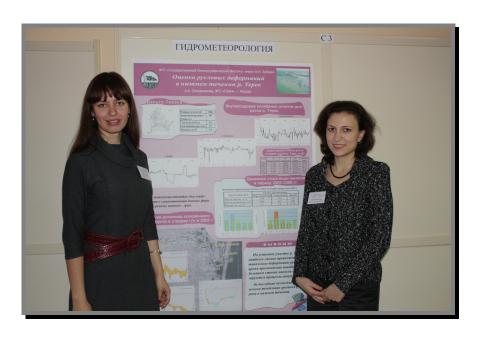
Дмитриева Т. М. Росгидромет, г. Москва



Ераньков В. Г. ГУ НПО "Тайфун", г. Обнинск



Попкова М. В., Шабалина А. В. ГУ ГГИ, г. Санкт-Петербург



Справа-налево: Сапожникова А. А., Шикунова Е. Ю. ГУ ГОИН, г. Москва



Суслов В. В. ГУ ВГИ, г. Нальчик



Уварова Н. Е. ГУ ИГКЭ, г. Москва

## ОЦЕНКА ПОТОКОВ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ВО ВНЕШНЕМ РАДИАЦИОННОМ ПОЯСЕ С УЧЕТОМ ПОПРАВКИ НА «МЕРТВОЕ ВРЕМЯ» СЧЕТЧИКОВ ГЕЙГЕРА

### Антипина М. Д.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е .К. Фёдорова, г. Москва

Область околоземного космического пространства, в которой сосредоточены потоки высокоэнергичных протонов и электронов, захваченных магнитным полем Земли, получила название радиационного пояса Земли (РПЗ). Пояс в виде кольца, окружающего Землю, обладает наибольшей интенсивностью на низких и средних широтах и почти отсутствует над полюсами [2].

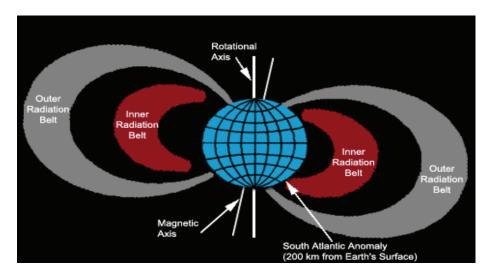


Рис. 1. Радиационные пояса Земли.

Наблюдение за радиационной обстановкой в околоземном космическом пространстве требует измерения потоков и энергетического состава протонов и электронов [2].

Заряженные частицы в геомагнитном поле сепарируются по отдельным пространственным зонам; так, во внешнем радиационном поясе поток частиц обусловлен главным образом электронами, захваченными в эту геомагнитную область; в околополярные зоны вторгаются потоки солнечных корпускул — преимущественно протоны сравнительно высоких энергий.

Были произведены расчеты мертвого времени для гейгеровских счетчиков расположенных на ИСЗ «Метеор 3М №1», на котором измерение потоков заряженных частиц производится как сцинтилляционными, так и гейгеровскими счетчиками. Были исполь-

зованы данные от трёх идентичных гейгеровских счетчиков за экранами различной толщины, которые измеряют поток протонов и электронов в нескольких энергетических интервалах, а также данные сцинтилляционного счётчика «Большой протон».

При больших потоках счетчик Гейгера делает просчеты, это связано с его мертвым временем [1]. Когда ядерная частица попала в счетчик и вызвала газовый разряд, то в течение некоторого времени счетчик становится не чувствительным по отношению к другим частицам, попадающими в счетчик. Импульсы, которые создаются частицами, попадающими в счетчик вслед за первой частицей, имеют соответственно меньшую величину. Частицы, попадающие в счетчик в то время, когда развиваются начальные стадии первого импульса, вообще не приводят к образованию разряда. Этот интервал времени носит название мертвого времени счетчика Tm.

Для оценки мертвого времени бортовых счётчиков Гейгера в качестве эталонного (без просчетов) датчика использовался сцинтиллятор. Сцинтиллятор измеряет протоны. С точки зрения оценки мёртвого времени интерес представляет область, где существуют большие потоки протонов. На высоте полета спутника «Метеор» (около  $1000 \, \mathrm{km}$ ) максимальные потоки протонов регистрируются в области Бразильской магнитной аномалии, где магнитное поле наименьшее. В этой области величина магнитного поля на уровне моря такая же, как и на высоте  $1000 \, \mathrm{km}$  вне аномалий. Поскольку Бразильская аномалия отрицательна и располагается на низких широтах, в этом районе происходит не только опускание зеркальных точек частиц, но и провисание дрейфовых оболочек к Земле. Радиальные градиенты потоков на L < 2, соответствующих этой аномалии, очень велики, и такое провисание оболочек приводит к значительному росту потоков частиц от границ к центру аномалии на заданной высоте.

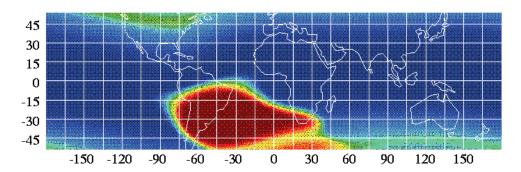


Рис.2. Бразильская магнитная аномалия.

Если ежесекундно в счетчик попадает большое число частиц (несколько тысяч и более), то разрешающее время  $\tau$  по величине будет сравнимо со средним промежутком времени между импульсами, поэтому значительное число импульсов не сосчитывается. Пусть m - наблюдаемая скорость счета счетчика Гейгера. Тогда доля времени, в течение которого счетная установка нечувствительна, равна  $m\tau$ . Следовательно, число импульсов, потерянных за единицу времени, равно  $nm\tau$ , где n - скорость счета, которая наблюдалась бы в том случае, если бы разрешающее время имело пренебрежимо малую величину (наблюдаемая скорость счета сцинтиллятора). Поэтому

$$n-m=nm\tau$$

или

$$n = \frac{m}{1 - m\tau} \tag{1}$$

Поправка в скорости счета, которая дается уравнением (1) часто называется поправкой на мертвое время установки.

Для удобства выполнения расчётов вышеприведенные формулы модифицировались следующим образом

$$\tau = \frac{1}{n_1} \times \frac{1 - \frac{k_m}{k_n}}{k_m - 1}$$

где

$$k_m = \frac{m_2}{m_1}$$

$$k_n = \frac{n_2}{n_1}$$

 $n_1$  — скорость счета сцинтиллятора в момент времени  $t_1$ ,  $n_2$  — скорость счета сцинтиллятора в момент времени  $t_2$ ,  $m_1$  — скорость счета счетчика Гейгера в момент времени  $t_1$ ,  $m_2$  — скорость счета счетчика Гейгера в момент времени  $t_2$ .

Момент времени  $t_1$  выбирается таким, чтобы, во-первых, показания всех трех счетчиков Гейгера совпадали, во-вторых, чтобы скорость счета не была как слишком малой, так и слишком большой. Момент времени  $t_2$  — текущее время от момента входа спутника в область Бразильской магнитной аномалии до центра аномалии.

Пример исходных данных, которые использовались для оценки мертвого времени, представлены на рис 3.

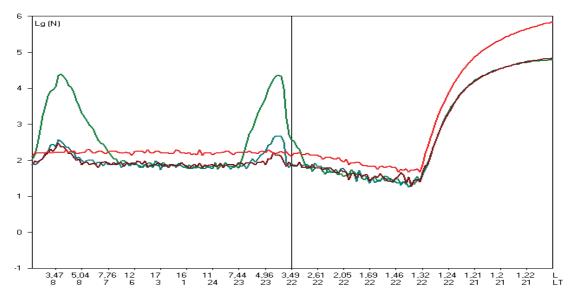


Рис. 3. Пример события

Результаты расчетов сводятся к следующему.

	<b>№</b> 1	<b>№</b> 2	№3	№4	№5
	(25.10.2003-	(20.02.2002-	(28.02.2004-	(10.06.2004-	(19.09.2004-
	26.10.2003)	21.02.2002)	01.03.2004)	11.06.2004)	20.09.2004)
Среднее T <sub>m</sub> (сек)	0.000363	0.000166	0.000197	0.000171	0.000127
Среднеквадратично е отклонение T <sub>m</sub> (сек)	7,49611×10 <sup>-5</sup>	2,99662×10 <sup>-5</sup>	4,039×10 <sup>-5</sup>	1,87629×10 <sup>-5</sup>	2,60023×10 <sup>-5</sup>

Среднее  $T_m$ =0,0002048 сек. Стандартное отклонение 3,8016×10<sup>-5</sup> сек

На рис. 4 видно, что по мере возрастания скорости счёта (углубления в область Бразильской магнитной аномалии) значение мертвого времени стабилизируется (в данном событии) на величине  $1,5\times10^{-4}$  сек. Для остальных событий картина такая же.

Была сделана корректировка с учетом поправки на мертвое время счетчиков Гейгера для скоростей счёта электронов, которые регистрировались во внешнем радиационном поясе. Счетчик Гейгера № 2 измеряет электроны с энергиями больше 700 КэВ, счетчик № 3 измеряет электроны с энергиями больше 1,7 МэВ.

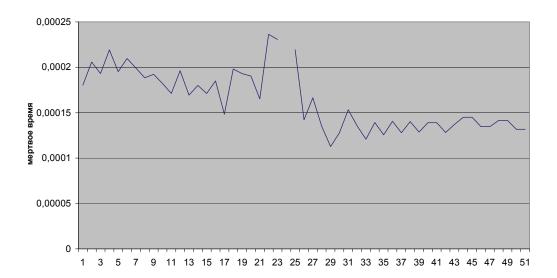


Рис. 4. Массив рассчитанных значений мертвого времени для события пересечения Бразильской магнитной аномалии в сеансе 10.06.2004-11.06.2004

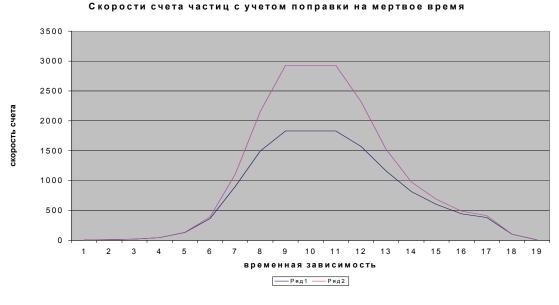


Рис. 5. Пример скорректированных на поправку на мертвое время данных измерений счетчика Гейгера №2 во внешнем поясе. (Ряд 1 - не скорректированный поток, ряд 2- скорректированный поток)

Коррекция на поправку на мёртвое время скорости счёта уже для третьего счетчика Гейгера не существенна (рис. 6), так как скорости счёта этого счётчика небольшие. Корректировка на поправку на мёртвое время для счетчика Гейгера №2 составляет чуть больше 60%. (рис. 5); этот счётчик измеряет достаточно большой поток частиц, так что учёт поправки на мёртвое время в данном случае существенен.

### 40 35 30 25 20 10 5 10 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 временная зависимость

#### Скорость счета частиц с учетом поправки на мертвое время

Рис. 6. Пример скорректированных на поправки на мертвое время данных измерений счетчика Гейгера №3 во внешнем поясе.

(Ряд 1- не скорректированный поток, ряд 2- скорректированный поток)

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- Среднее значение мертвого времени счетчиков Гейгера, установленных на борту ИСЗ «Метеор 3М №1», оценивается величиной  $2,04\times10^{-4}$  сек при стандартном отклонении  $3,8016\times10^{-5}$  сек.
- Наличие мёртвого времени приводит к необходимости корректировки показаний счетчиков Гейгера в сторону увеличения; в случае счетчика Гейгера N2 на величину более 60%.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Гольданский В.И., А.В Куценко., М.И. Подгорецкий. Статистика отсчётов при регистрации ядерных частиц. Государственное издательство физико-математической литературы. Москва. 1958 г., 412 стр.
- 2. Ковтюх А.С., М.И. Панасюк Радиационные пояса Земли. В кн. Плазменная гелиогеофизика, в 2 т. (Под ред. Л.М. Зеленого, И.С. Веселовского), М., ФИЗМАТЛИТ, 2008. т.І. 672 с, т.ІІ 560 с, ISBN 978-5-9221-1040-2, т. І, с. 510-534.

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЕКАМЕТРОВЫХ РАДИОВОЛН НА ИОНОСФЕРНЫХ РАДИОТРАССАХ

#### Батаков А. М.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Фёдорова, г. Москва

Для практических расчётов характеристик ионосферных радиотрасс существенна минимизация погрешностей двух видов. Это погрешность при расчёте величины максимально применимой частоты ( $M\Pi Y$ ) при заданной длине скачка D и величины длины скачка D при заданной рабочей частоте  $f_p$ . Обозначая эти погрешности через  $\Delta M\Pi Y$  и  $\Delta D$  соответственно, можно ввести понятие эффективности  $\mathcal{F}$ 0 с помощью соотношения:

$$\mathcal{J} = 0.5 \left\{ \left[ \left( \Delta M \Pi Y \right)_e / \Delta M \Pi Y \right]^2 + \left[ \left( \Delta D \right)_e / \Delta D \right]^2 \right\}$$

В данном соотношении роль вариаций  $\Delta M\Pi Y$  и  $\Delta D$  в формировании эффективности  $\Im$  принята одинаковой. Величины ( $\Delta M\Pi Y$ )<sub>е</sub> и ( $\Delta D$ )<sub>е</sub> обозначают некоторые эталонные погрешности. То есть для из всех различных моделей процесса распространения декаметровых радиоволн какая-то определённая модель может быть принята за эталон, обеспечивающий эталонную эффективность  $\Theta_e$ . Приведенная формула имеет структуру, согласно которой  $\theta_e = 1$ . Можно полагать, что для какой либо конкретной модели, расчёты по которой характеризуются погрешностями  $\Delta M\Pi Y$  и  $\Delta f_p$  неравенство Э>1 означает более высокую эффективность модели по сравнению с эталонной, неравенство 9 < 1 – более низкую. Приведенное соотношение позволяет выбрать в качестве эталонной модели ту, которая используется при долгосрочном прогнозировании МПЧ [1]. При этом следует отметить, что при расчётах разностей входящих в формулу можно использовать произвольные статистические величины, характеризующие разброс значений в их множестве. Например, это могут быть среднеквадратичные оценки разностей (или разности между верхними и нижними квартилями и т.д.). Для дальнейшего целесообразно оценить величины ( $\Delta M\Pi Y$ )<sub>е</sub> и ( $\Delta D$ )<sub>е</sub> на основе сравнения экспериментальных данных и данных [1], что позволяет рассматривать результаты долгосрочного прогноза в качестве эталонных.

Так в работе [2] приведены данные о распространения радиоволн для условий весны 2003 г. на трассе Великобритания – Москва, см. рис. 1. Здесь на плоскости (время суток-частота) сплошной кривой представлена зависимость МПЧ, определённая экспериментально методом наклонного зондирования –  $M\Pi Y_{H3}(t)$ . Максимальное значение этой криво примерно равно 28,4 МГц, минимальное – 7,4 МГц. Аналогичные значения  $M\Pi Y$  по долгосрочному прогнозу равны 31 МГц и 9,2 МГц. То есть в дневное время разность между экспериментом и долгосрочным прогнозом – величина ( $\Delta M\Pi Y$ ) $_e$  имеет порядок долей мегагерца, возрастая в ночное время до двух МГц.

Величину  $(\Delta D)_e$  можно оценить на основании данных работы [3]. В ней представлены результаты измерения интенсивности сигнала, излучаемого наземным источником вдоль ионосферной радиотрассы на расстоянии, охватывающем первый скачок. То есть речь идет о первой нижней мертвой зоне. На рис. 2 даны результаты измерений с помощью измерителя напряженности поля, установленного на самолете АН-10. Начало эксперимента сопровождалось калибровкой чувствительности подвижного измерителя на земной поверхности. Затем самолет поднимался на высоту 10 км и осуществлял полет по прямой линии в течение двух-трех часов. Эксперимент проводился летом в приполуденное время. На рис. 2 представлена кривая, состоящая из нескольких участков.

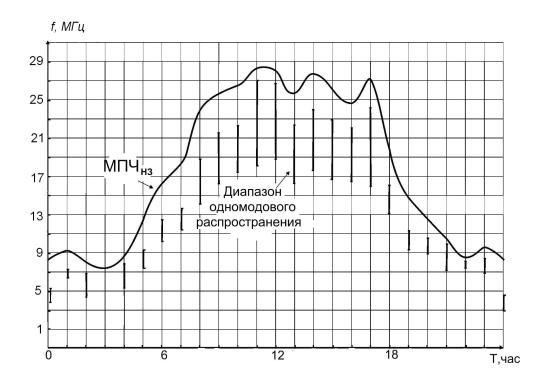


Рис.1 Суточный ход МПЧ и участков одномодового распространения декаметровых радиоволн на трассе Англия — Москва.

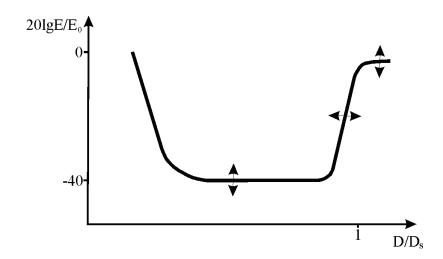


Рис. 2. Результаты измерений напряженности поля на первом скачке декаметровых радиосигналов с помощью самолётного измерителя.  $E_0$  – напряжённость поля на дальности первого скачка  $D_{\rm s}$ ; стрелки - разброс измерений.

Длина скачков в этих измерениях колебалась в пределах 2-3 тыс. км. То есть величина  $(\Delta D)_e$  заключена в пределах 100-200 км.

Таким образом, в данной работе представлена формула для оценки эффективности моделей процесса распространения декаметровых радиоволн на ионосферных радиотрассах. Приводятся значения оценок соответствующих погрешностей долгосрочного прогноза, позволяющие выбрать эту методику в качестве эталонной.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Месячный прогноз МПЧ. Гидрометеоиздат. Москва. Март 2003.
- 2. Рябова Н.В. Радиоканалы однолучевого распространения коротких волн и их технические характеристики. Труды IX Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» Воронеж. 2003. Т.З. с. 955-964.
- 3. Акимов В.Ф., А.А. Васькин, А.Л. Дзвонковская, Ю.К. Калинин Дифракционная радиоволна на протяжённых трассах декаметрового диапазона волн вблизи МПЧ-F2-4000. Электромагнитные волны и электронные системы 2008. № 4. С. 47-54

### О ПРИМЕНИМОСТИ ФУНКЦИИ ЧЕПМЕНА В ЗАДАЧАХ О ПОГЛОЩЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА В АТМОСФЕРЕ

#### Важенин А. А.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Фёдорова, г. Москва

### Актуальность проблемы

При решении задач геофизики и астрономии, связанных с поглощением солнечного излучения атмосферой, зачастую используется функция Чепмена (в астрономии — функция Бемпорада), называемая также «функция скользящего падения». Но ее применение связано с рядом упрощающих предположений об атмосфере. Также она имеет ограниченную область применения. В частности, функция Чепмена применима в точности лишь для сферически симметричной атмосферы и при шкале высот, не зависящей от высоты. Целью данной работы является выявление ограничений применимости функции Чепмена в аэрономических расчетах.

### О функции Чепмена

Функция Чепмена  $Ch(\chi, r/H)$  описывает изменение оптической толщи сферической атмосферы в зависимости от зенитного расстояния Солнца  $\chi$  [2]. Кроме зенитного расстояния, она зависит также от геоцентрического расстояния r и высоты однородной атмосферы H. Вычисления функции были произведены в 1931 году английским математиком и геофизиком Сидни Чепменом (1888-1970) [4].

Функция Чепмена входит практически во все ионосферные модели (см., например, [2], [3] и [7]). Для зенитных расстояний менее 75° функция Чепмена практически эквивалентна секансу зенитного расстояния. Для больших зенитных расстояний она существенно отличается от секанса. Вычисления функции Чепмена для зенитных расстояний, больших 90°, были проведены Чепменом в 1953 году [4] и Уилксом в 1954 году [9]. Результаты расчетов показаны на рис. 1.

В более поздних работах – например, Свидером и Гарднером в 1969 [8] – при расчетах функции Чепмена был учтен градиент температуры, который присутствует в верхних слоях атмосферы.

### Функция Чепмена при зенитных расстояниях, больших 90°

Ситуация, при которой зенитное расстояние Солнца больше 90° — это когда наблюдение ведется с некоторой высоты над поверхностью Земли, причем наблюдатель должен находиться над ее теневой половиной. Такое возможно, например, при наблюдении с самолета, со спутника или с высокой горы, т.е. это очень распространенная ситуация. Изменение зенитного расстояния в зависимости от местоположения наблюдателя показано на рис. 2.

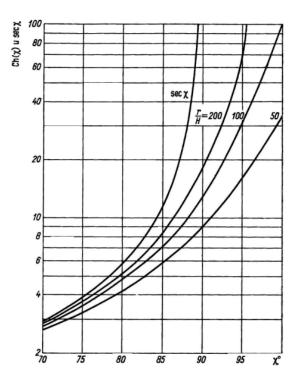


Рис. 1. Функция Чепмена для различных зенитных расстояний  $\chi$  при трех значениях r/H, где r — геоцентрическое расстояние, H — высота однородной атмосферы

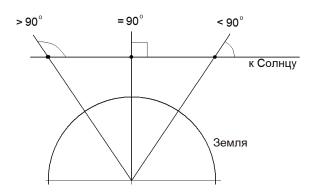


Рис. 2. Зенитные расстояния Солнца

При исследовании процессов в верхней атмосфере и ионосфере, происходящих сразу после захода Солнца и непосредственно перед восходом, необходимо рассчитывать поглощение излучения при зенитных расстояниях больше 90° и, соответственно, функцию Чепмена. Например, при исследовании состава атмосферы затменным методом [1], нужно определять функцию Чепмена для зенитных расстояний 105–112°.

Разные авторы дают различные способы аппроксимации функции Чепмена – например, [5], [6] и [8] которые для этих зенитных расстояний могут отличаться друг от друга в разы и даже десятки раз. Если при зенитных расстояниях, близких к 90°. это отличие может незначительным, то с увеличением зенитного расстояния оно растет. Естественно, что оказывает существенное влияние на окончательный результат определении поглощения солнечного атмосферными излучения газами. Для сравнения разных методов автором данной были работы рассчитаны значения функции Чепмена при различных значениях параметра r/H и зенитных расстояний по методу Фитзмориса [5] и по методу Свидера [8]. Результаты расчетов приведены на рис. 3.

Сплошной график построен по методу [5], штрихпунктирный — по [8]. Штриховой линией обозначен график секанса зенитного расстояния. На левом рисунке

параметр r/H=50, на правом -200. Видно, что до зенитного расстояния, примерно равного  $80^{\circ}$ , оба метода хорошо согласуются. Но с увеличением зенитного расстояния резко возрастает и расхождение этих двух методов. В частности, при отношении r/H, равном 50, и при зенитном расстоянии, равном  $100^{\circ}$ , функция Чепмена, рассчитанная по методу Фитзмориса [5] отличается от рассчитанной по методу Свидера [8] почти в 3 раза. Очевидно, что для расчетов поглощения при зенитных расстояниях  $105-112^{\circ}$  различие должно быть еще больше.

Таким образом, применение имеющихся в литературе аппроксимаций функции Чепмена при больших зенитных расстояниях для аэрономических расчетов становится проблематичным вследствие значительных расхождений между результатами расчетов, использующих различные методы.

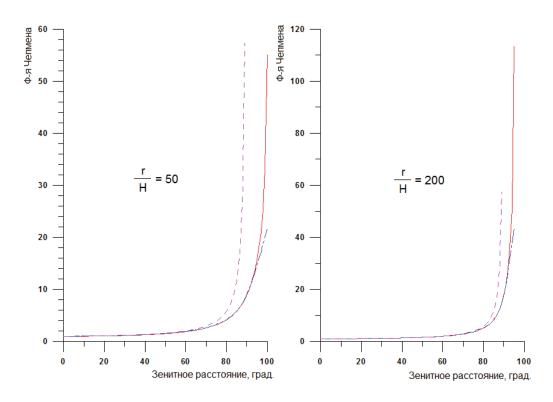


Рис.3. Аппроксимации функции Чепмена по данным разных авторов

#### Выводы

Использование функции Чепмена без ущерба точности вычислений в задачах, связанных с поглощением излучения в атмосфере Земли, возможно до зенитных расстояний не более  $85-90^{\circ}$ .

Для зенитных расстояний, больших, чем 90°, необходимо прибегать к использованию более общих методов расчетов, например, интегрирования вдоль траектории солнечного луча. Именно этот метод был использован в работе [1].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Важенин А.А. Концентрация молекулярного кислорода на высотах 90-120 км по измерениям солнечного УФ-излучения на КА «КОРОНАС-Ф». Сборник ИПГ. 2010.
- 2. Иванов-Холодный Г.С., Г.М. Никольский Солнце и ионосфера. М.: Наука. 1969.
- 3. Ришбет Г., О.К. Гарриотт Введение в физику ионосферы. Л.: Гидрометеоиздат. 304 с. 1975.
- 4. Chapman S. Proc. Phys. Soc. B66, 710. 1953.
- 5. Fitzmaurice J. A. Simplification of the Chapman Function for Atmospheric Attenuation. Applied Optics. V.3. I.5, P.640. 1964.
- 6. Huestis D.L. Accurate evaluation of the Chapman function for atmospheric attenuation. J. Quantit. Spectr. & Radiat. Transf. V.69. P.709-721. 2001.
- 7. Rishbeth H., O.K. Garriott Introduction to the Ionosphere and Geomagnetism. Technical report №8. 1964.
- 8. Swider W., M.E. Gardner On the Accuracy of Chapman Function Approximations. Applied Optics. V.8. I.3. P.725. 1969.
- 9. Wilkes M. V. Proc. Phys. Soc. B67, 304. 1954.

### КОНЦЕНТРАЦИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО КИСЛОРОДА НА ВЫСОТАХ 90-120 КМ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СОЛНЕЧНОГО УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА КА «КОРОНАС-Ф»

#### Важенин А. А.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Фёдорова, г. Москва

### Актуальность проблемы

Определение концентрации молекулярного кислорода на высотах от 90 км и выше — одна из важных задач геофизики, имеющая как научное, так и прикладное значение. Данные о концентрации известны, в основном, из результатов ракетных экспериментов [17] и модельных расчетов. Масспектрометрические измерения на ракетах немногочисленны и часто недостоверны. Систематических, длительных исследований не проводилось. Вследствие этого модельные данные по большей части основаны на чисто теоретических представлениях. Кроме того, в последнее время активно дискутируется вопрос об изменении состава атмосферы на этих высотах вследствие эффектов, связанных с трендами, например, [13] и [9]. Все это приводит к необходимости систематического измерения концентрации молекулярного кислорода на высотах от 90 до 120 км. Одним из таких методов может служить метод определения концентрации молекулярного кислорода по данным о поглощении ультрафиолетового (УФ) излучения Солнца, в том числе, при спутниковых измерениях.

### КА «КОРОНАС-Ф»: краткие сведения

Аббревиатура КОРОНАС — это комплексные орбитальные околоземные наблюдения активности солнца. Космический аппарат (КА) «КОРОНАС-Ф» был запущен 31 июля 2001 года с космодрома Плесецк, завершил полет 7 декабря 2005. За время жизни осуществил более 20 тысяч сеансов связи. Полярная орбита. Высота — около 500 км, наклонение — примерно 83°. Период обращения — 85 мин. Полезный вес — 560 кг. Размеры: высота 6 м, ø1,5 м. Объем телеметрической информации — 200 Мб в день. Нес на борту шестнадцать научных аппаратурных комплексов и систему передачи данных [3]. Общий вид КА «КОРОНАС-Ф» представлен на рис. 1.



Рис.1. Космический аппарат «КОРОНАС-Ф»

В настоящей работе использовались данные аппаратурного комплекса ВУСС-Л. Для определения местоположения КА использовалась модель SGP4 [11].

### Аппаратура ВУСС-Л

Прибор ВУСС-Л был разработан в ГУИПГ. ВУСС — это вакуумный ультрафиолетовый солнечный спектрофотометр, регистрирующий солнечное излучение вблизи области Лайман-альфа. На рис. 2 — график чувствительности прибора [5].

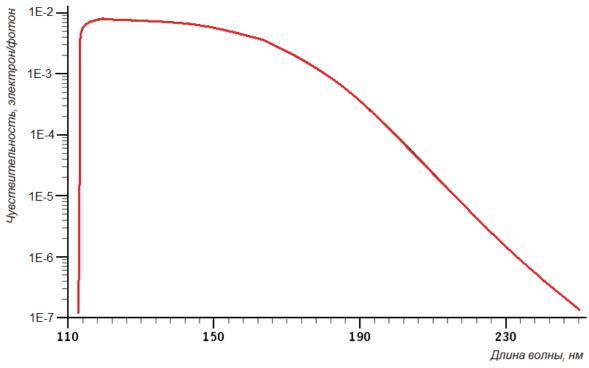


Рис.2. Чувствительность аппаратуры ВУСС-Л

Видно, что максимум чувствительности прибора приходится на область Лайманальфа (121,6 нм), однако прибор чувствует и гораздо более длинноволновое излучение – примерно до 250 нм. Типичный вид сигнала, полученного с прибора ВУСС-Л 28-го января 2003 года, показан на рис. 3.

На врезке – сигнал, полученный за два витка КА «КОРОНАС-Ф» по орбите. Видны два выхода КА из тени Земли и два захода в тень. Более крупно показан фронт одного из сигналов, развернутый по времени. Длительность и амплитуда сигнала зависят от концентрации поглощающих веществ в атмосфере Земли, а именно – молекулярного кислорода, т.к. именно этот газ является основным поглотителем в изучаемом диапазоне высот.

### Геометрия луча

На рис. 4 приведена геометрия солнечного луча в пространстве. Положению КА соответствует точка A, положению Солнца — точка C. Точка B соответствует максимальной концентрации молекулярного кислорода, а также, соответственно, максимальному поглощению.

Солнце — не точечный источник, поэтому излучение, приходящее на датчик прибора ВУСС-Л, заключено в некий конус, основанием лежащий на видимом диске Солнца, а вершиной на датчике. Причем в точке *В* диаметр этого конуса, в зависимости от высоты и положения КА на орбите, может достигать 20 км, что существенно. Верхние лучи в этом конусе поглощаются слабо, нижние — сильно. В результате на датчике ВУСС-Л возникает картина, показанная на врезке. Однако для высот более 70 км, этим эффектом можно пренебречь [1].

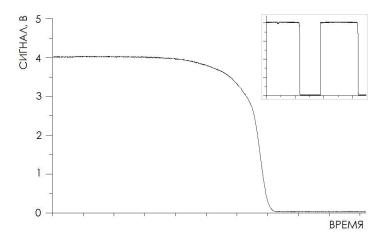


Рис.3. Типичный сигнал с прибора ВУСС-Л

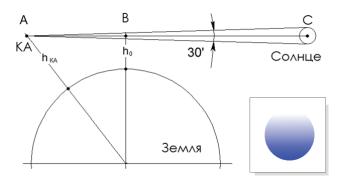


Рис. 4. Геометрия и особенности поглощения солнечного луча

### Поглощение излучения атмосферой

Поглощение в атмосфере в общем случае описывается следующим выражением [4]:

$$\frac{I_A}{I_0} = \exp\left(-\sigma \int_A^\infty n(l)dl\right) \tag{1}$$

где  $I_{\rm A}$  — интенсивность излучения в точке A (см. рис. 4),  $I_0$  — интенсивность неослабленного излучения,  $\sigma$  — сечение поглощения молекулярного кислорода, n(l) — концентрация молекулярного кислорода вдоль луча l.

### О функции Чепмена

Зачастую в задачах о поглощении излучения для упрощения расчетов используется функция Чепмена [15]. Эта функция описывает поглощение вдоль луча при сферическисимметричной атмосфере. При малых зенитных расстояниях она эквивалентна секансу зенитного расстояния. Посчитано, что для зенитных углов более 90° функция Чепмена аппроксимируется довольно грубо. Причем разные авторы дают различные способы аппроксимации функции Чепмена, например, [8] и [16], которые для зенитных расстояний более 90° дают значения, могущие отличаться друг от друга в разы и даже десятки раз. Поэтому ее использование в настоящей задаче невозможно, и нужно «честно» считать по (1).

### Спектр излучения Солнца

Выражение (1) дано для одной длины волны. Так как датчик ВУСС-Л чувствителен в довольно широком диапазоне длин волн (см. рис. 2), то для расчета поглощения и оценки концентрации, необходимо знать спектр солнечного излучения во всем этом диапазоне. Типичный солнечный спектр показан на рис. 5.

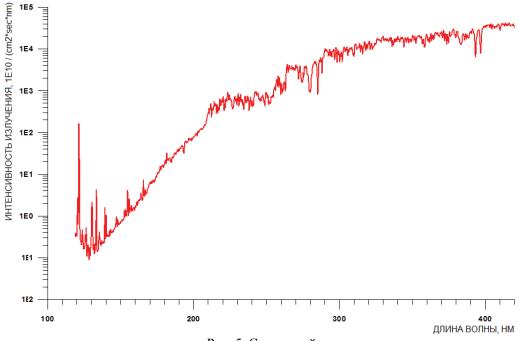


Рис. 5. Солнечный спектр

### Сечение поглощения О2

В выражение (1) входит сечение поглощения. Этот параметр характеризует величину поглощения излучения при прохождении через конкретное вещество, в данном случае — молекулярный кислород [12]. Сечение поглощения для него в диапазоне чувствительности прибора ВУСС-Л [2] представлено на рис. 6.

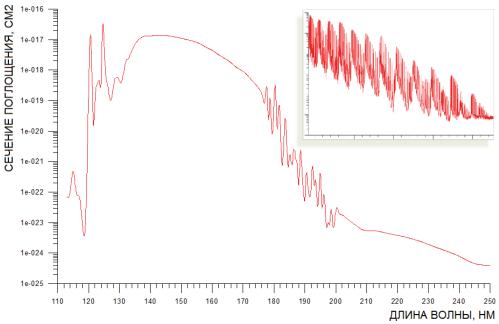


Рис. 6. Сечение поглощения молекулярного кислорода

На врезке – континуум Шумана-Рунге с более мелким шагом по длине волны [7], [18]. Видно, что оно очень резко изменяется на очень малых отрезках. Погрешность расчетов зависит, в том числе, от точности определения сечения поглощения.

#### Модель Jacchia-77

Концентрация молекулярного кислорода в (1) задавалась моделью Jacchia-77 [10]. Выявлено, что на данных высотах при аналогичных параметрах атмосферы эта модель практически совпадает с данными более современных атмосферных моделей, например, MSIS-2000 [14]. В то же время она более проста и эффективна. Поэтому была использована именно эта модель.

#### Расчет поглошения

Результат расчета поглощения с учетом всех вышеприведенных особенностей и условий данной задачи показан на рис.7.

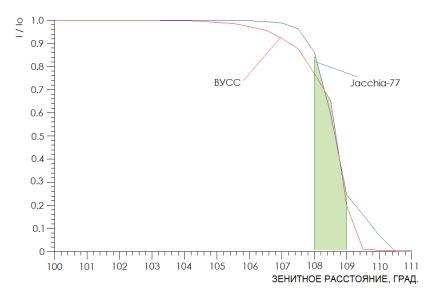


Рис. 7. Расчет поглощения солнечного излучения

На рисунке показано ослабление солнечного излучения в атмосфере Земли по данным измерений на КА («ВУСС») и по расчетным данным («Jacchia-77»). Видно, что при зенитных расстояниях примерно от 108° до 109° графики практически совпадают друг с другом. В данном случае этот диапазон зенитных расстояний соответствуют высотам солнечного луча в атмосфере от 90 до 110 км. Для расчетов на малых высотах, как и на больших, этот метод не подходит, т.к. там не соблюдаются некоторые принятые допущения. Расчеты были проведены при высоком и низком уровнях солнечной активности, и результаты отличаются менее чем на 5%. Это дает основание полагать, что уровень солнечной активности слабо влияет на концентрацию молекулярного кислорода на высотах 90–120 км. Аналогично, изменение температуры экзосферы также не оказывает значительного влияния на поглощение в атмосфере на этих высотах.

При изменении концентрации молекулярного кислорода относительно модели Jacchia-77, т. е. вводя поправочный коэффициент k, можно добиться совпадения расчетного графика с графиком реального сигнала ВУСС-Л, что показано на рис. 8.

С помощью оценки среднеквадратического отклонения (СКО) можно найти такой коэффициент k для зенитных расстояний от  $107^{\circ}$  до  $109^{\circ}$ , при котором совпадение графиков будет максимальным:

$$CKO = \sqrt{\frac{\int\limits_{\chi_1}^{\chi_2} (f_{\Re cn}(\chi) - f_{pacu}(\chi))^2 d\chi}{\chi_2 - \chi_1}}.$$

Результат анализа СКО при различных поправочных коэффициентах k показан на рис. 9.

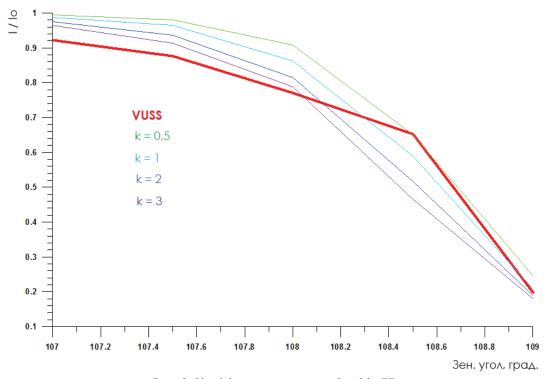


Рис. 8. Коэффициенты модели Jacchia-77

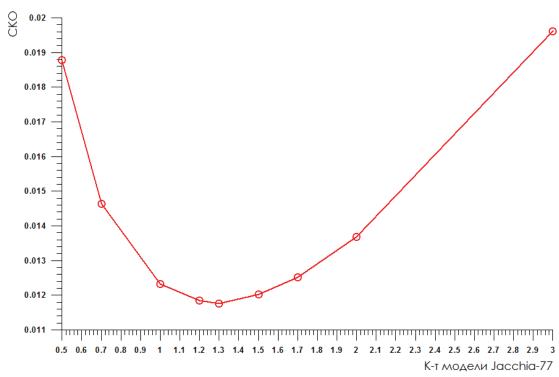


Рис. 9. СКО расчетов и измерений КА

#### Выводы

Анализ поглощения ультрафиолетового излучения Солнца в атмосфере показал, что концентрация молекулярного кислорода на высотах 90–120 км в реальной атмосфере примерно в 1,3 раза больше по сравнению с концентрацией по используемой в расчетах модели Jacchia-77.

Изменение спектрального состава излучения с уровнем солнечной активности слабо влияет на расчет поглощения солнечного ультрафиолетового излучения в атмосфере Земли на высотах 90–120 км. Изменение температуры экзосферы также не оказывает на него заметного влияния.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Важенин А. А. Учет размеров Солнца в задачах о поглощении излучения в атмосфере. Труды главной геофизической Обсерватории им. А. И. Воейкова. №559. С.219-227. 2009.
- 2. Ватанабе К. Поглощение коротковолнового излучения в атмосфере. «Исследования верхней атмосферы с помощью ракет и спутников». М.: Изд-во иностр. лит. 472 с. 1961.
- 3. Кузнецов В. Д. Спутник «КОРОНАС-Ф» наблюдает Солнце вблизи максимума активности. Земля и Вселенная. № 6. С.11-22. 2002.
- 4. Николе М. Аэрономия. М.: Мир. 1964.
- 5. Нусинов А. А., Т. В. Казачевская, В. В. Катюшина, П. М. Свидский, Ю. Н. Цигельницкий, Д. А. Гонюх, С. И. Болдырев, А. Н. Афанасьев, Д. В. Лисин, А. И. Степанов Измерения крайнего УФизлучения Солнца в различных диапазонах длин волн на ИСЗ КОРОНАС-Ф: аппаратура и основные результаты. Астрон. Вестник. Т.39. №6. С.527-537. 2005.
- 6. Ришбет Г., О. К. Гарриотт Введение в физику ионосферы. Л.: Гидрометеоиздат. 304 с. 1975.
- 7. Amoruso A., L. Crescentini, M. S. Cola, G. Fiocco Oxygen Absorption Cross-section in the Herzberg Continuum. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, V.56. №1. P.145-152. 1996.
- 8. Fitzmaurice J. A. Simplification of the Chapman Function for Atmospheric Attenuation. Applied Optics. V.3. I.5, P.640. 1964.
- 9. Givishvili G. V., L. Leshchenko , G. Ivanov-Kholodny , V Chertoprud. Trends of lower thermosphere gas composition 35th COSPAR Scientific Assembly, 18-25 July 2004, Paris, France. P.1253. 2003.
- 10. Jacchia L. G. Thermospheric Temperature, Density, and Composition: new Models. Res. Space Sci. SAO Special Report №375. 1977.
- 11. Hoots F. R., Roehrich R. L. Models for Propagation of NORAD Element Sets. Spacetrack report №3. Dec. 1980.
- 12. Hudson R. D. Absorption Cross Sections of Stratospheric Molecules. Can J. Chem. V.52, P.1465-1478. 1974.
- 13. Laštovička J., R. A. Akmaev, G. Beig, J. Bremer, J. T. Emmert, C. Jacobi, M. J. Jarvis, G. Nedoluha, I. Yu. Portnyagin, T. Ulich Emerging pattern of global change in the upper atmosphere and ionosphere. Ann. Geophysicae. V.26. №5. P.1255-1268. 2008.
- 14. Picone M., A. E. Hedin, D. Drob NRLMSISE-00 Model.
- 15. Rishbeth H., O. K. Garriott Introduction to the Ionosphere and Geomagnetism. Technical report №8. 1964.
- 16. Swider W., M. E. Gardner On the Accuracy of Chapman Function Approximations. Applied Optics. V.8. I.3. P.725. 1969.
- 17. Weeks L. H., L. G. Smith Molecular Oxygen Concentration in the Upper Atmosphere by Absorption Spectroscopy. J. Geophys. Res. V.73. №15. 1968.
- 18. Yoshino K., J. R. Esmond, A. S.-C. Cheung, D. E. Freeman, W. H. Parkinson High Resolution Absorption Cross Sections in the Transmission Window Region of the Schumann-Runge Bands and Herzberg Continuum of  $O_2$  Planet. Space Sci. V.40.  $N ext{0.2/3}$ . P.185-192. 1992.

# ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ОДИНОЧНОГО GPS/ГЛОНАСС ПРИЁМНИКА

#### Васильев А. Е.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Фёдорова, г. Москва

В связи с использованием спутниковых радионавигационных систем (GPS/ГЛОНАСС) во всё большем числе прикладных задач, исследование среды распространения навигационных радиосигналов (атмосферы, ионосферы, плазмосферы) становится все более актуальным. Вместе с тем, сигналы навигационных систем сами несут в себе информацию о среде распространения, что делает навигационные системы удобным инструментом для ионосферных и магнитосферных исследований. В связи с этим целью данной работы является исследование возможности оценки полного электронного содержания ионосферы по данным одиночного наземного GPS/ГЛОНАСС приемника.

Для проведения экспериментальных измерений в данной работе использовались GPS/ГЛОНАСС приёмники Javad Legacy, Javad Lexon с фирменными комплектующими и программным обеспечением (ПО). Кроме того, для получения научных результатов разработана собственная программа предобработки и визуализации данных JPS Reader.

Эксперименты проводились в двух приёмных пунктах – на крыше Физического факультета МГУ (Legacy) и на метеостанции МГУ (Lexon).

Фазовые  $(L_1, L_2)$  и групповые  $(P_1, P_2)$  данные высокоорбитальных навигационных систем на частотах  $f_1$  и  $f_2$  соответственно несут информацию о полном электронном содержании в ионосфере вдоль луча (TEC, Total Electron Content), соединяющего спутник и приемник GPS/ГЛОНАСС [1, 2]:

$$TEC = \int_{l} N_{e}(\vec{r}) dl = \frac{1}{40,308} \frac{f_{1}^{2} f_{2}^{2}}{f_{1}^{2} - f_{2}^{2}} [(P_{2} - P_{1}) + \sigma P]$$

$$TEC = \int_{l} N_{e}(\vec{r}) dl = \frac{1}{40,308} \frac{f_{1}^{2} f_{2}^{2}}{f_{1}^{2} - f_{2}^{2}} [(L_{1} \lambda_{1} - L_{2} \lambda_{2}) + const_{1,2} + \sigma L],$$

где  $L_1\lambda_1$  и  $L_2\lambda_2$  - приращения фазового пути радиосигнала, вызванные задержкой фазы в ионосфере;  $L_1=\Delta \varphi/2\pi$  и  $L_2=\Delta \varphi/2\pi$  - фазовые измерения GPS-приемника, выполненные на частоте  $f_1$  и  $f_2$  соответственно (целое и дробное число циклов  $\pi$ -фазы); const<sub>1,2</sub> - неоднозначность фазовых измерений;  $\sigma L$  - ошибка измерения фазы.

 $P_{1,2}$  - групповой путь для частоты соответственно  $f_1$  и  $f_{2,\sigma} P$  — ошибка измерения дальности по P-коду.

Отметим, что по фазовым данным  $L_1$  и  $L_2$  можно вычислить ТЕС только с точностью до неизвестной аддитивной константы, связанной с неопределенностью определения начальной фазы, в то время как по кодовым измерениям  $P_1$  и  $P_2$  можно оценить абсолютный ТЕС. Однако для исследования распределения электронной концентрации в ионосфере целесообразно использовать именно эти данные фазовые данные, так как ТЕС, вычисленный по кодовым данным существенно более зашумлен. Уровень шума кодовых измерений составляет как правило 30-50%, по сравнению с долями процентов для фазовых данных [3].

В связи с вышеуказанными преимуществами и недостатками фазовых и групповых измерений, нередко используется комбинированный способ оценки ТЕС (далее «TEC L»).

Комбинированный способ предусматривает аппроксимацию групповых данных фазовыми. Для этого линии фазовых ТЕС переносят на уровень групповых ТЕС так, что-

бы их разность в среднем была минимальна для данного непрерывного сеанса захвата фазы.

Конкретно, в этом способе вычисляют среднюю разность фазовых и групповых данных TEC и вычитают её из фазовых TEC:

$$TEC \ll L \gg = TEC_{phase} - \ll TEC_{phase} - TEC_{group} \gg$$

Наглядный пример осуществления такого способа показан на рис. 1.

В результате получается оценка наклонного ТЕС вдоль луча спутник приемник, в которую не входит аддитивная константа, связанная с неизвестной начальной фазой. Подобная оценка тем точнее, чем длиннее интервал непрерывности данных приемника. На рис.1 видно, что на небольших углах возвышения спутника GPS, когда в данных присутствуют разрывы и уровень шума в кодовых данных максимален, такая оценка может быть не пригодна.

Следует отметить, что полученная при совместном использовании фазовых и группповых данных оценка ТЕС все еще может содержать в себе некий аддитивный пьедестал, связанный с частотно зависимыми задержками обработки сигналов на обеих рабочих частотах системы GPS в аппаратуре спутников и приемников навигационных сигналов, так называемый DCB (Differential Code Bias). Более того, значения DCB различны для разных спутников группировки, а для навигационных приемников могут меняться в зависимости от метеопараметров (давления, температуры и влажности). Стоит отметить, что неизвестные DCB не влияют на точность определения координат двухчастотным навигационным приемником, так как могут быть удалены, аналогично поправкам на неравномерный ход часов.

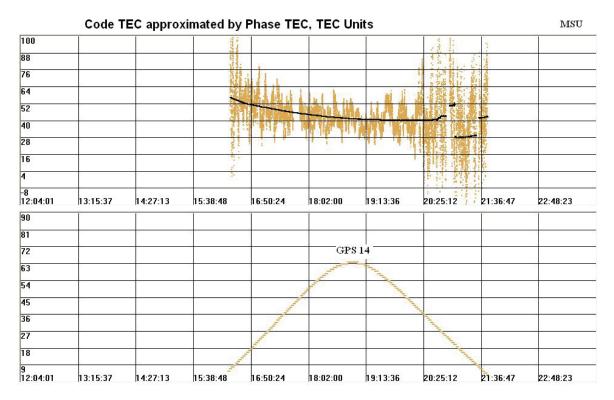


Рис. 1. Пример зависимости экспериментальных данных с приемника Javad Legacy, установленного на метеостанции МГУ. ТЕС, рассчитанный по кодовым и фазовым данным для 14-го спутника GPS (сверху), и углы возвышения спутника в градусах (снизу), 2 ноября 2008 г.

Частотно зависимые задержки обработки сигналов в аппаратуре спутников и приемников GPS не возможно определить по данным одиночного приемника, они определяются для сети базовых станций IGS в процессе решения обратной задачи восстановления параметров ионосферы. При наличии вблизи пункта наблюдения, на котором установлен GPS/ГЛОНАСС приемник, базовой станции сети IGS, для которой известна величина DCB, можно ставить задачу об оценке DCB используемого приемника, путем сравнения данных приемника и базовой станции. В данной работе эта задача была решена на примере приемника Javad Legacy, установленного на территории МГУ и базовой станции «ZWE2» (г. Звенигород), входящей в сеть IGS. Расстояния между станциями не превышало 50 км. Результаты сравнения данных ТЕС с обеих станций на примере пролета 2-го спутника GPS 2 ноября 2008 года представлены на рис. 2.

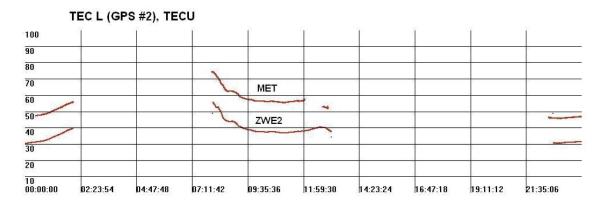


Рис. 2. Сравнение данных станции ZWE2 с измерениями на метеостанции МГУ приёмником Javad Legacy, 2 ноября 2008 г.

Видно, что между данными обеих станций существует значительное систематическое расхождение, связанное с разностью DCB приемников, установленных на данных станциях. На рис. 3 приведена оценка данной разницы в единицах TEC, полученная для всех наблюдавшихся 2 ноября 2008 г. спутников системы GPS.

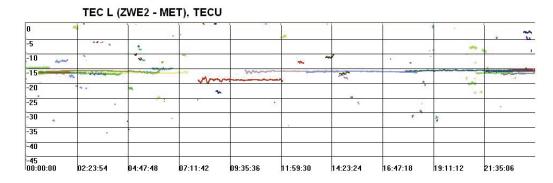


Рис. 3. Разность ТЕС между показаниями станций ZWE2 и метеостанции МГУ, 2 ноября 2008 г.

По результатам суточного усреднения для всех спутников, разность DCB приемников двух приёмных станций составила

$$TEC_{ZWE2} - TEC_{MET} = -16.0 \pm 1.1 \ TECU$$

Зная поправку DCB станции ZWE2, рассчитанную Бернским университетом (1.237  $\pm$  0.039 TECU для 2 ноября 2008), формально по известной разнице вычисляется поправка DCB приёмника, расположенного на территории МГУ.

Таким образом, после калибровки DCB приемника Javad Legacy по данным станции ZWE2, можно проводить оценки TEC непосредственно по данным приемника Javad Legacy, расположенного на метеостанции МГУ. Пример такой оценки для всех наблюдаемых спутников GPS за день 2 ноября 2008 г. приведен на рис. 4.

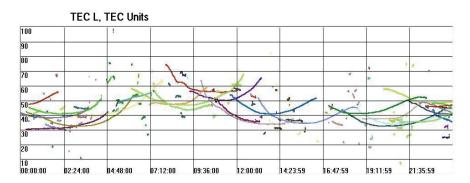


Рис. 4. Оценки ТЕС по данным приемника Javad Legacy (Метеостанция МГУ), 2 ноября 2008 г.

На рисунке хорошо прослеживается суточный ход электронной концентрации, возрастание TEC в утренние и дневные часы и спадание TEC в вечерние и ночные часы по местному времени.

При анализе полученных результатов тем не менее следует иметь в виду, что полученные оценки ТЕС все еще могут содержать некий пьедестал, вызванный используемыми модельными представлениями используемыми при оценке частотно зависимых задержек аппаратуры спутников GPS и приемников базовых станций сети IGS, а также ошибки связанные с несовпадением лучей спутник-приемник для базовой станции используемой при калибровке и приемного пункта в котором ведется наблюдение.

#### Заключение

Совместное использование фазовых и кодовых данных одиночного двухчастотного GPS/ГЛОНАСС приемника позволяет оценивать ТЕС вдоль лучей спутник-приемник. Данные оценки, тем не менее, могут содержать медленно меняющиеся аддитивные добавки, связанные с частотно зависимыми задержками обработки навигационных сигналов в аппаратуре приемников и спутников (DCB). В общем случае определение DCB возможно только при обработке данных с сети GPS/ГЛОНАСС приемников, однако в некоторых случаях, возможно оценить DCB используемого приемника по данным близлежащей базовой станции, DCB приемника которой известен.

Таким образом, данные одиночного GPS/ГЛОНАСС приемника пригодны в большей степени для оценки вариаций TEC, чем для оценки абсолютного значения TEC, для чего лучше использовать другие методы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Куницын В.Е., Е.Д. Терещенко, Е.С. Андреева, Радиотомография ионосферы. Москва, Наука, 2007
- 2. Афраймович Э.Л., Н.П. Перевалова, GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Институт солнечно-земной физики, Иркутск, Изд-во ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМ, 2006
- 3. Куницын В.Е., Е.С. Андреева, М.А. Кожарин, И. А. Нестеров. Радиотомография ионосферы с применением высокоорбитальных навигационных систем. Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. 2005 №1

# ИЗМЕНЕНИЕ КРУГОСВЕТНОГО ЭХА В РЕЗУЛЬТАТЕ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА ВБЛИЗИ АНТИПОДА ТОЧКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

### Васькин А. А., Горенко В. Е.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Фёдорова, г. Москва

В последнее время появился ряд работ, по исследованию воздействия ядерных взрывов на ионосферу [1]. Вместе с тем уже давно существовали работы по фокусировке декаметровых волн вблизи антипода [2]. Возникла необходимость совместного рассмотрения данных этих работ. Ниже излагаются результаты исследований с помощью декаметрового радара кругосветных эхо, которые включили в себя интервал времени осуществления ядерного взрыва вблизи его антипода. Гипотетическая интерпретация результатов приводит к ряду уточнений возможного влияния неоднородностей ионосферы в области антипода радара на энергетику кругосветных радиосигналов.

Осенью 1971 г. проводились регулярные суточные сеансы по исследованию свойств радиолокационных сигналов декаметрового диапазона на кругосветных радиотрассах. Использовался экспериментальный радар, располагавшийся на Юге Украины. Излучение проводилось на частоте f = 16 МГц с помощью передатчика импульсной мощности P = 500 кВт и передающей антенны с выигрышем  $G = 10^3$ . Таким образом, в ионосфере на расстоянии порядка 1,5 тыс. км. создавалась напряжённость высокочастотного поля порядка 0,2-0,3 в/м. В результате имело место нелинейное воздействие волнового пакета на окружающую среду вследствие её нагрева [3]. Это приводило к образованию в пределах проекции на ионосферу диаграммы направленности излучающей антенны искусственного образования, сохраняющей свойства дневной ионосферы и в ночное время [4]. Это позволяло наблюдать кругосветный сигнал в течение всего времени суток. Следует отметить, что свойства такой антропогенной ионосферы позволяли проводить загоризонтное обнаружение стартов баллистических ракет на дальности до 3 тыс. км на частотах, близких к МПЧ-F2-3000 дневного времени. В то время как в регионе верхняя частотная граница активных помех соответствовала гораздо меньшей величине - МПЧ-F2-3000 ночного времени. Приёмная антенна представляла собой горизонтальную решётку с действующей длиной  $10^2$  м. Её диаграмма направленности была ориентирована в направлении противоположном направлению излучения и допускала реверс на 180°.

Кругосветная трасса проходила через Индонезию, Австралию и достигала антиподной точки примерно на 2 тыс. км. южнее французского полигона ядерных испытаний на атоллах Муруроа и Фангатауфа, см. рис. 1. Частота повторения в экспериментах по регистрации кругосветных радиолокационных сигналов была выбрана 5  $\Gamma$ ц. Соответственно интервал задержек на развёртке типа A был равен 0 – 200 млс. Длительность импульса – 1 млс. Было известно [5], что наблюдавшиеся ранее задержки однократного кругосветного сигнала равны 137-140 млс.

Суточные сеансы начиналась в 17 часов LT, когда рабочая частота f была примерно равна местной МПЧ-F2-3000 в вершине первого «скачка». Излучение, таким образом, в начале сеансов производилось в сторону наступающей ночи. Первый кругосветный сигнал (КС-1) регистрировался в виде импульса практически той же длины с задержкой 138 млс. Типичная схема сигнальной картины на индикаторе с развёрткой типа A длительностью 200 млс представлена на рис 2A. Здесь приняты обозначения: ЗИ — зондирующий импульс, УШ — уровень шумов от активных помех, практически одинаковый вдоль всей развёртки. В ситуации A аббревиатура ВНЗ-1 означает несколько возвышающийся над уровнем шумов сигнал односкачкового возвратно-наклонного зондирования с задержкой около 20 млс. Сигнал ВНЗ -1 формировался либо за счёт заднего лепестка приёмной антенны и главного лепестка передающей, либо наоборот.

Ситуация **Б** соответствует реверсу приёмной антенны. При этом сигнал ВН3-1 существенно возрастал, и стал наблюдаться двускачковый сигнал ВН3-2. Одновременно существенно уменьшилась амплитуда кругосветного сигнала КС-1. Таким образом, селекция кругосветного сигнала производилась по трём признакам. Задержка — 138 млс. Уменьшение амплитуды КС-1 при реверсе приёмной антенны. Увеличение амплитуды сигналов ВН3 при реверсе приёмной антенны.



Рис. 1 Взаимное расположение антипода дислоцированного на Юге Украины декаметрового радара (кривая линия — траектория движения волнового пакета в направлении максимума диаграммы направленности передающей антенны, - кружочек на траектории место антипода), и французского ядерного полигона на атоллах Муруруа и Фангатауфа.

После ядерного взрыва сигнальная картина быстро изменилась – ситуация **В**. А именно, наряду с увеличившегося по амплитуде сигнала КС-1 в течение нескольких часов наблюдались сигналы КС-2 на задержке 76 млс (из удвоенного значения задержки КС-1 вычитается длительность развёртки) и КС-3 на задержке примерно 15 млс (из утроенного значения задержки КС-1 вычитается удвоенная длительность развёртки). Соблюдение отмеченных арифметических соотношений подтверждает гипотезу о том, что кругосветные сигналы различной кратности распространяются по одному и тому же азимутальному сектору кругосветных траекторий. Следует отметить, что длительности импульсных кратных кругосветных сигналов примерно одинаковы и несущественно превышают длительность зондирующего импульса. Это находится в определённом противоречии с данными, приведенными в [3]. Можно предположить, что это различие связано с двумя факторами. Это, прежде всего использование антенн с более широкими главными лепестками диаграмм направленности. И кроме того, возможно, что существенную роль играют упомянутые выше нелинейные эффекты в ионосфере. Близкий круг вопросов рассмотрен в [3]

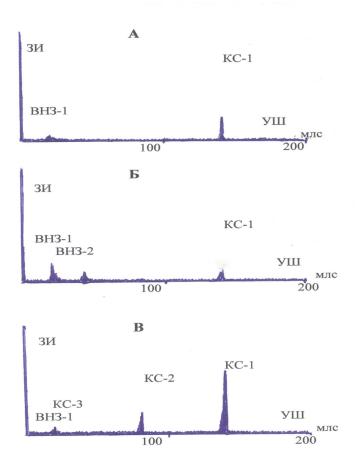


Рис. 2. Схемы сигнальной картины на индикаторе с развёрткой типа А. **A** – типовой случай, когда главные лепестки передающей и приёмной антенн направлены в противоположные стороны. КС-1 сигнал кругосветного эха с задержкой 138 млс.

 ${f b}$  – типовой случай реверса приёмной антенны; главные лепестки диаграммы направленности обеих антенн ориентированы в одну и ту же сторону.

**В** – изменение сигнальной картины после проведения ядерного взрыва примерно в антиподе радара

Сдвиг между точками антипода и взрыва. Оценить роль этого фактора можно на основании данных специальных декаметровых радаров — автоматических ионосферных станций (АИС), образующих мировую сеть. Наиболее надёжной величиной, регистрируемой АИС, является критическая частота  $f_0$  ионосферной области  $F_2$ . Эта величина подвержена различным квазидетерминированым изменениям. Они обусловлены экзогенными факторами (сезонно-суточная изменчивость и т.д.). Для их исключения формируется эталонная функция  $f_0^3$  (t, r) координат и времени, которая вычитается из эмпирических значений  $f_0$  и которой эта разность нормируется [6] образованная таким способом величина  $\delta f_0$  представляет собой относительную вариацию критической частоты области  $F_2$ . Изменчивость  $\delta f_0$  имеет эндогенную природу. В этой изменчивости важную роль играют отрицательные вариации, обусловленные воздействием приземных ядерных взрывов. Суть реакции ионосферы состоит в образовании в ней отрицательных возмущений. Они представляют собой квазидетерминированные неоднородности с продольным размером 2-3 тыс. км. Объекты перемещаются с околозвуковой скоростью на расстояния многих тысяч км вдоль дуги большого круга. Об этом судят по временным сдвигам отригих тысяч км вдоль дуги большого круга.

цательных возмущений на цепочке разнесённых АИС. Естественно предположить, геометрия воздействия ядерного взрыва на область F и в рассматриваемом случае подобна той, которая наблюдалась во время ядерных взрывов на острове Новая Земля.

Рассмотрим данные полученные после ядерного взрыва мегатонного класса, проведенного 23.10.1961 г. на острове Новая Земля. [6]. Так на фрагменте А даны расположения АИС, обнаруживших в соответствующее время локальный минимум зависимости  $\delta f_0(t)$  (темные кружочки) и не обнаруживших такой минимум (светлые кружочки). На фрагменте Б представлена зависимость модуля величины  $\delta f_0$  (сама величина отрицательна) от дальности. Следует отметить, что первая точка наблюдения (АИС на мысе Шмидта) находится на расстоянии около 3 тыс. км от места взрыва. Поэтому пунктирная интерполирующая кривая на фрагменте Б начинается именно с этой точки. Начальная динамика макромасштабных неоднородности по данным о состоянии ионосферы сразу по этим данным не может быть установлена. Поэтому следует обратиться к ионосферным данным, полученным во время приземного ядерного взрыва30.10.1961г.

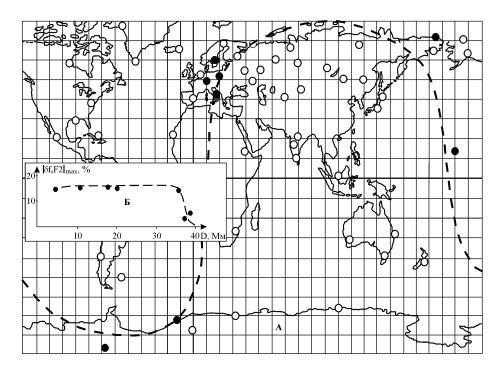


Рис. 3 Данные о регистрации мировой сети АИС на ядерный взрыв 23.10. 61 А - Элементы кругосветной траектории неоднородности, чёрные кружочки - расположение АИС, зарегистрировавшие выброс вариации критической частоты области F2, белые – не зарегистрировавшие. Б – Зависимость модуля относительной вариации критической частоты от дальности.

Тогда движение макромасштабной отрицательной ионосферной неоднородности происходило в юго-восточном направлении. Ее зарегистрировали азиатские и австралийские АИС. Была, однако, при этом одна исключительная особенность регистрации. Цепочка АИС, вдоль которой происходило движение антропогенной неоднородности, включала близкие к Новой Земле АИС, расположенные на о. Диксоне и в Салехарде. Такая особенность цепочки позволила построить в вертикальной плоскости геометрическую схему воздействия ударной волны взрыва на ионосферу. Схема отображает развитие событий после взрыва на разрезе земной поверхности и ионосферы плоскостью, проходящей через центр Земли, Новую Землю и Сингапур, рис. 4 [1]. Здесь стрелкой изображен ядерный взрыв на Новой Земле. Элементы пунктирных окружностей изображают первичную ударную волну, расходящуюся из точки взрыва. Плоскость, касательная к земной поверхности в

этой точке взрыва, ограничивает область существования ударной волны. АИС, расположенные на Диксоне и в Салехарде, не обнаруживают изменений в ионосфере. Первой это делает АИС в Томске. Следует отметить, что именно в этом районе касательная плоскость к поверхности Земли в точке взрыва достигает высоты области F ионосферы. Возникающая отрицательная макромасштабная неоднородность представлена изогнутой замкнутой кривой (осевая линия – штрих-пунктир). Объект регистрируется только в точках, удаленных от области взрыва - на АИС – Томск (знак Т), Иркутск (знак Ир), Сингапур (знак Си). АИС Диксон (знак Д), Салехард (знак Са) наличие объекта не регистрируют. Именно в районе АИС Томск находится область трансформации первичной ударной волной взрыва в макромасштабную неоднородность, продолжающую затем движение в направлении на Австралию. Существенно, что область трансформации (ОТ), расположена в толще области F ионосферы, на удалении от точки взрыва порядка 2 тыс.км. Именно при таком удалении ударная волна от взрыва, двигаясь по касательной к поверхности, достигнет высоты области F ионосферы. Как следует из данных, представленных на рис. 1, на таком же удаление находится антипод радара на Украине от места ядерного взрыва на французском полигоне.

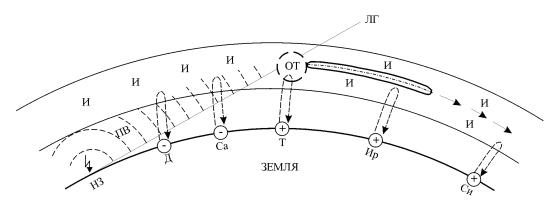


Рис. 4. Схема трансформации первичной волны (ПВ), возникающей после ядерного взрыва (значок ♥) на о. Новая Земля (НЗ) на высотах ионосферы (значки И-И-И...) в области трансформации (ОТ), расположенной вблизи точки пересечения линии горизонта (ЛГ), с областью максимума ионизации ионосферы.

Проанализированы геофизические и радиофизические эффекты, обусловленные расположением ядерного взрыва вблизи антипода радара регистрирующего кругосветные сигналы в декаметровом диапазоне. Приведены данные, свидетельствующие о том, что после ядерного взрыва происходит изменение сигнальной картины в виде появления кратных кругосветных сигналов. Обосновывается гипотеза о том, что это изменение можно соотнести к явлению уменьшения контрастности ионосферных неоднородностей в области антипода под действием ударной волны ядерного взрыва.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Калинин Ю.К., Н.П. Сергеенко, В.Е. Горенко. Нелинейные эффекты движения макромасштабных сейсмогенных и антропогенных неоднородностей в области F2 ионосферы. Доклады PAH, 2005.т.407, №4, С.52-53.
- 2. Pipp R.W., Webster. Radio Sc. J. Res. NBS. 1964. 68D. p.333
- 3. Гуревич А.В., Е.Е. Цедилина Сверхдальнее распространение коротких радиоволн. М.: Наука.1979.
- 4. Акимов В.Ф., Ю.К. Калинин, Л.Л. Рождественская, Э.И. Шустов Увеличение максимально применимой частоты при наклонном воздействии мощной радиоволны. Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Алма-Ата, Тез. докл. М.: Наука, с.101, 1997

- 5. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М.: Наука, 568 с., 1979
- 6. Дзвонковская А.Л., Ю.К. Калинин, В.А. Кузнецов, Н.П. Сергеенко, А.А. Васькин Нелинейные макромасштабные неоднородности в области F2 ионосферы Земли. Электромагнитные волны и электронные системы. 2008. № 2-3. с.62-68

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ГЕОСТАЦИОНАРНОГО СПУТНИКА «ЭЛЕКТРО» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ АЛЕКСЕЕВА-КАЛЕГАЕВА

#### Воронин А.А.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова, г. Москва

Геостационарный метеорологический спутник ЭЛЕКТРО-GOMS был запущен с космодрома Байконур ракетой-носителем "Протон" 31 октября 1994 года. Точка стояния спутника — на экваторе на 76 градусах восточной долготы — находилась над Индийским океаном к югу от Индии (рис. 1).

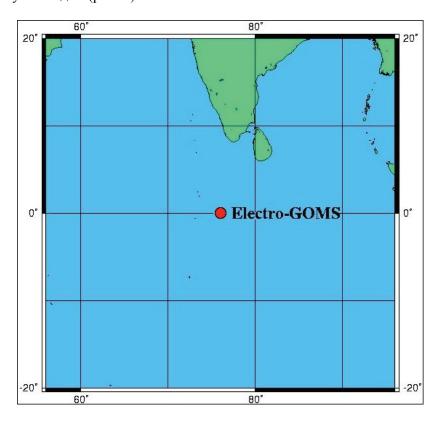


Рис.1 Положение спутника «Электро»

В число экспериментов входило измерение магнитного поля в точке стояния спутника. Датчики были установлены на специальных немагнитных штангах на расстоянии более 2 метров от спутника. Бортовой магнитометр выдавал данные раз в минуту по трем компонентам магнитного поля. Эти данные были сведены в базу данных.

Для обработки результатов измерений и анализа геомагнитных вариаций в точке стояния спутника необходимо было разработать программное обеспечение, обладающее следующими возможностями:

- 1. загрузка данных из базы
- 2. визуализация измеренных данных
- 3. усреднение данных по часам, дням и месяцам
- 4. выделение непрерывных участков данных
- 5. загрузка трехчасовых индексов геомагнитной активности, определение магнитоспокойных участков.
- 6. поиск значений углов Эйлера методом подбора с заданным шагом и точностью совпадения векторов.
- 7. вычисление углов Эйлера.

Из модели геомагнитного поля International Geomagnetic Reference Field (IGRF) можно получить приближенные значения магнитного поля в точке стояния спутника. Данные магнитометра разрывны, т.е. измерения проводились не постоянно. Также, в данных присутствует значительное количество так называемых «зашкалов» - точек в

данных присутствует значительное количество так называемых «зашкалов» - точек, в которых магнитное поле превышало по модулю 180 нТ — предела измерения магнитометра. Из графиков, построенных по данным магнитометра можно видеть, что измеренные значения вектора магнитного поля значительно отличаются от модельных (рис. 2).

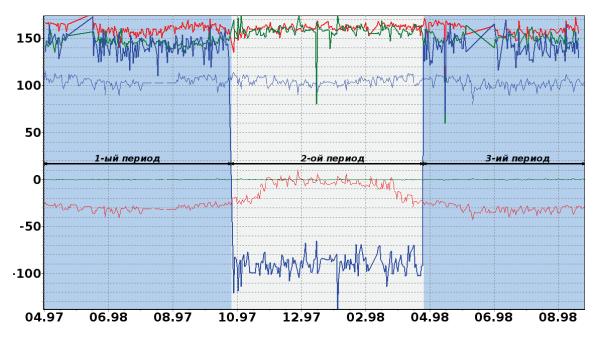


Рис. 2. Данные магнитометров и модельные значения (модель Алексеева-Калегаева [1]).

Отличие данных магнитометра от модельных может быть связано с неточной ориентацией спутника, относительно координатных осей, другими словами, координатная система спутника и, следовательно, его бортового магнитометра, повернута относительно истинных осей на некоторые углы, называемыми углами Эйлера.

Для устранения систематической ошибки в магнитных данных, связанной с неточной ориентацией спутника, необходимо повернуть координатную систему спутника для ее совмещения с осями координат модели.

Просмотр данных наблюдений магнитного поля на геостационарной орбите показал, что во время геомагнитный возмущений разброс в данных магнитометра увеличивается. Поэтому были выбраны магнитоспокойные участки из условия Ap < 7 (рис. 3), и именно на этих участках был произведен поиск углов.

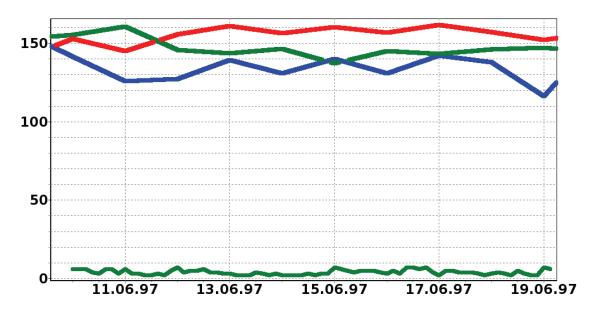


Рис. 3. Магнитоспокойный участок (Ар < 7).

Значения углов Эйлера определяются аналитически. Два вектора всегда лежат в одной плоскости, поэтому можно совместить их одним поворотом вокруг оси, перпендикулярной к плоскости векторов (рис 4).

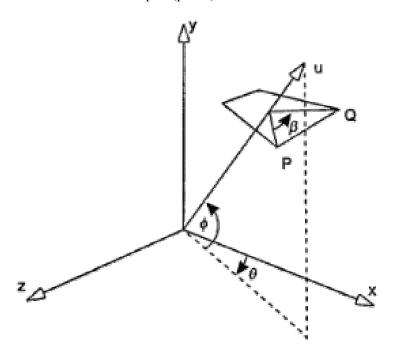


Рис. 4. Совмещение двух векторов.

Для этого необходимо выполнить следующие действия:

- 1. Выполнить поворот вокруг оси Z на угол betta
- 2. Выполнить поворот вокруг оси X на угол alpha
- 3. Выполнить поворот вокруг оси Y.
- 4. Компенсировать вспомогательные повороты.

С математической точки зрения, это означает перемножение пяти матриц поворота.

$$A = \begin{bmatrix} \cos(-\beta) & 0 & \sin(-\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(-\beta) & 0 & \cos(-\beta) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\alpha) & -\sin(-\alpha) \\ 0 & \sin(-\alpha) & \cos(-\alpha) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix}$$
Компенсирующие повороты

Поворот вокруг оси

Вспомогательные повороты

Найденные таким способом значения углов Эйлера, являются единственными. Как видно из рис. 5, углы практически не меняются, поэтому можно предположить, что ориентация спутника хотя и отличалась от правильной, но все-таки была постоянной.

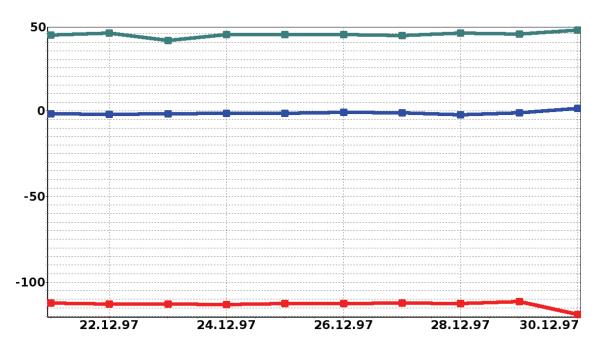


Рис. 5. Значения углов Эйлера, вычисленные на магнитоспокойном участке.

Таблица 1 Результаты вычисления углов Эйлера

	1-ый период	2-ой период	3-ий период
Угол Х	-67,45	-111,19	-67,18
Угол Ү	35,8	44,99	36,12
Угол Z	8,15	-0,41	7,85

За время наблюдения спутник два раза переворачивали (рис. 2). Таким образом углы Эйлера необходимо вычислять на трех временных интервалах. Результаты усреднения вычисленных углов на каждом из трех интервалов представлены в таблице 1.

С помощью найденных углов возможно производить корректировку данных бортовых магнитометров.

Результаты такой корректировки можно видеть на рис. 6.

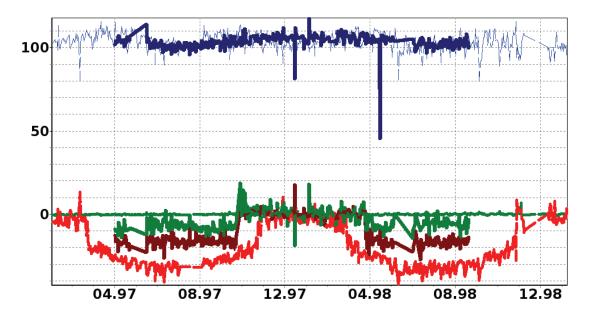


Рис. 6. Данные магнитометров, восстановленные с помощью углов Эйлера.

Таким образом, можно сделать вывод, что ИСЗ «Электро» был сориентрирован не точно, однако, это ориентация оставалась постоянной, что делает возможным восстановление магнитометрических данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alexeev I.I., E.S. Belenkaya, V.V. Kalegaev, Ya.I. Feldstein, A. Grafe. Magnetic storms and magnetotail currents. J.Geophys.Res., vol. 101, p.7737, 1996

## ВАРИАЦИИ ОТНОШЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ СЛОЯ F2 ДЛЯ 2200 И 1000 LT

#### Константинова А. В.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Фёдорова, г. Москва

#### Ввеление

Антропогенная деятельность может вызывать изменения не только в нижней атмосфере, но и в верхней, так как атмосфера является единым целым, и изменения, происходящие в нижней атмосфере, могут приводить к изменениям и верхней атмосфере. В последнее время пристальное внимание исследователей привлекает проблема долговременных трендов ионосферных параметров. Исследование долговременных трендов ионосферных параметров подробно описано в обзорной статье коллектива исследователей под руководством Ластовички [3] и было показано, что имеются значительные расхождения в величинах трендов, получаемых разными авторами.

При изучении трендов параметров слоя F2 все исследователи анализировали сами величины foF2 или hmF2. Данилов [1] предложил анализировать отношение дневных и ночных величин foF2(ночь)/foF2(день). Основная идея заключается в том, что дневные и ночные величины foF2 зависят от разных групп физических процессов. Дневные значения foF2 определяются главным образом фотохимическими процессами, а ночные – динами-

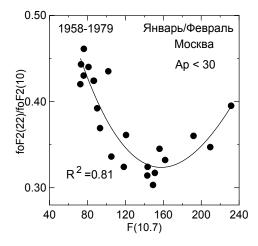
ческими процессами, которые прямо связаны с вертикальным дрейфом плазмы, вызванным горизонтальными ветрами в термосфере. Поэтому, изучая изменение во времени отношения foF2(hoчь)/foF2(день), можно попытаться получить информацию о трендах динамики термосферы. Даниловым [1] было впервые найдено, что наблюдается систематическое изменение величины foF2(02)/foF2(14) после примерно 1980 года. Время начала изменения было названо «граничной датой».

В данной работе рассматриваются вариации со временем отношения критических частот слоя F2 ионосферы в моменты суток, разделенные интервалом в 12 часов (2200 и 1000 LT). Предполагается, что в такие моменты вклад динамических процессов в величины foF2 существенно различается, что позволяет судить о временных изменениях ветрового режима термосферы. Рассмотрены данные 13-и ионосферных станций восточного полушария (Ашхабад, Канберра, Дурбес, Хобарт, Иркутск, Москва, Пойтиерс, Рим, Ташкент, Ленинград, Руген, Томск, Свердловск). Все эти станции относятся к средним широтам и расположены в интервале широт 30-60°. Мы сознательно избегали рассмотрения станций в высоких и приэкваториальных широтах, поскольку там на вертикальный дрейф слоя F2 могут влиять другие факторы (например, электрические поля) помимо термосферных ветров.

Анализируется отклонение  $\Delta$ foF2(22)/foF2(10) величины foF2(22)/foF2(10) от построенной модельной зависимости от F(10,7).

#### Метод

Как известно, критическая частота слоя F2 зависит от солнечной активности. Чтобы избавиться от влияния солнечной активности на foF2(22)/foF2(10), для периода до 1980 г. для каждой станции строилась зависимость foF2(22)/foF2(10) от индекса солнечной активности F(10.7). Затем эта зависимость аппроксимировалась полиномом 3-й степени. Полученная аппроксимация рассматривалась как модель зависимости от солнечной активности для всех лет. Обнаружено, что характер зависимости foF2(22)/foF2(10) от F(10.7) существенно различен для выбранных сезонов. Для зимы зависимость носит характер цепной линии. Для лета зависимость носит характер монотонного падения. Примеры таких зависимостей приведены на рис. 1 для станции Москва. Величины R<sup>2</sup> на этих и последующих рисунках дают коэффициент определенности, который даёт статистическую значимость полученной аппроксимации по критерию Фишера. При количестве точек, имеющихся на рис. 1а и 16, статистическая значимость приведенных аппроксимаций превышает 99 и 95 %, соответственно.



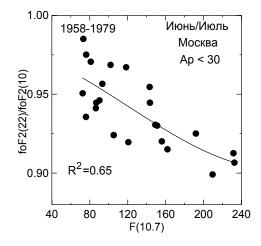


Рис 1. Зависимость foF2(22)/foF2(10) от F(10.7) для зимы и лета для станции Москва

Анализировалась разность между полученной модельной зависимостью и реально наблюдаемыми величинами foF2(22)/foF2(10),  $\Delta$  foF2(22)/foF2(10). Использовались два подхода к анализу временного хода  $\Delta$ foF2(22)/foF2(10): рассмотрение точек для каждого года и анализ скользящих средних с окном в 11 лет. При анализе скользящих средних получается более наглядная картина (более выраженный тренд). Однако при этом на 5 лет укорачивается получаемый ряд данных. Кроме того, при анализе обычного несглаженного ряда есть возможность удалять отдельные точки, сильно выпадающие из общей зависимости и, скорее всего, являющиеся результатом ошибки исходных данных. На рис. 2 приведены изменение  $\Delta$  foF2(22)/foF2(10) для сглаженных и несглаженных данных для станции Ташкент.

Для проверки наличия зависимости получаемых результатов от магнитной активности, расчеты для каждой станции проводились для дней с геомагнитным индексом Ap < 6, Ap < 16 и Ap < 30. Анализ показал, что не наблюдается каких-нибудь значимых систематических различий при разных ограничениях на величину Ap. Поскольку для Ap < 30 по очевидным причинам имеется больше данных, все приведенные в этой статье результаты относятся к Ap < 30.

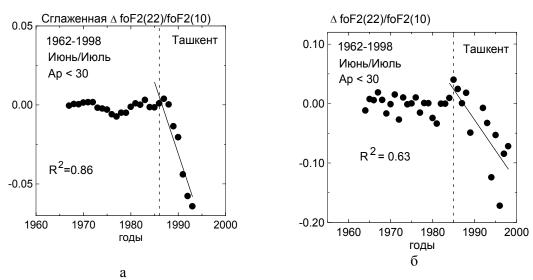


Рис. 2 Изменение  $\Delta$  foF2(22)/foF2(10) для сглаженных (а) и несглаженных (б) данных для станции Ташкент.

#### Результаты

Выяснилось, что характер поведения  $\Delta$  foF2(22)/foF2(10) со временем демонстрирует резкое изменение в районе 1980 г., названного ранее «граничной датой». При этом для зимнего периода для всех проанализированных станций наблюдается рост  $\Delta$  foF2(22)/foF2(10) после «граничной даты». Примеры изменения  $\Delta$  foF2(22)/foF2(10) для зимы приведены на рис. 3

Для летнего периода наблюдается как рост, так и падение  $\Delta$  foF2(22)/foF2(10) после «граничной даты». При этом, для летнего периода картина значительно менее стабильна — разброс данных гораздо больше, чем для зимы. Примеры изменения  $\Delta$  foF2(22)/foF2(10) для лета (как для положительного, так и для отрицательного тренда после «граничной даты») приведены на рис. 4.

Менее стабильная картина, наблюдаемая летом обусловлена, скорее всего тем, что летом момент 2200 LT не всегда соответствует ночным условиям — ионосфера в области F может еще быть освещена, или находиться в неустойчивом послезаходном состоянии.

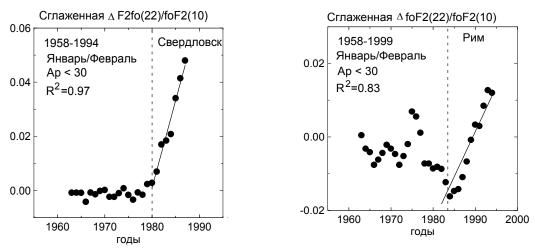


Рис. 3. Примеры изменения  $\Delta$  foF2(22)/foF2(10) для зимы для станций Свердловск и Рим

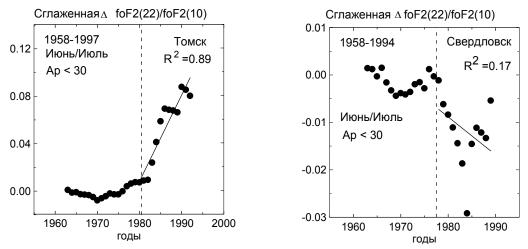


Рис. 4. Примеры изменения Δ foF2(22)/foF2(10) для лета для станций Томск и Свердловск

Мы предполагаем, что не происходит существенных долговременных изменений в фотохимии слоя F2. Поэтому полученный для зимы результат мы интерпретируем как указание на положительный тренд foF2(22)/foF2(10), вызванный увеличением критической частоты слоя F2 в 2200 LT из-за тренда динамических процессов. Ночные значения foF2 определяются, главным образом, величиной высоты слоя F2, а она прямо связана с вертикальным дрейфом плазмы, вызванным горизонтальным ветром в термосфере. Таким образом, полученный результат показывает, что (по крайней мере – зимой) наблюдается тренд горизонтальных ветров, приводящих к росту высоты слоя F2 в результате вертикального дрейфа.

Поскольку к изменению дрейфа могут приводить как зональный, так и меридиональный ветер, на данном этапе нельзя сказать, каков вклад в наблюдаемый тренд каждой из составляющих. Вклад этих составляющих зависит по-разному от магнитного склонения D и наклонения I, которые различны для разных пунктов (ионосферных станций). Поэтому пока не удалось получить связной географической картины абсолютных величин трендов.

В настоящее время уже очевидно, что увеличение количества парниковых газов затронуло не только тропосферу, но и атмосферу выше нее. Наблюдается охлаждение и оседание средней и верхней атмосферы [4] и оно не может не отразиться на изменении динамического (ветрового) режима термосферы. Отражение этих изменений мы и ищем в данной работе, используя ионосферные данные, как это было сделано в работе [1].

#### Выволы

В результате анализа данных обнаружена разная зависимость отношения foF2(22)/foF2(10) от солнечной активности в летний и зимний периоды.

Обнаружено, что после «граничной даты» (около 1980 г.) происходит изменение временного хода  $\Delta$  foF2(22)/foF2(10) (наблюдается долговременный тренд).

В зимний период картина изменения  $\Delta$  foF2(22)/foF2(10) более стабильна, чем летом. В зимний период тренд foF2(22)/foF2(10) лучше выражен, чем в летний, и для всех станций имеет положительный знак.

Предполагается, что указанный тренд отражает тренд горизонтального ветра в термосфере, определяющего ночные значения критической частоты слоя F2 через индуцированный им вертикальный дрейф.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Данилов А.Д. Временные и пространственные вариации отношения ночных и дневных критических частот слоя F2. Геомагнтизм и аэрономия. Т. 47 №6. С. 751-760. 2007
- 2. Данилов А.Д, Л.Б. Ванина-Дарт Пространственные и временные вариации отношения foF2(ночь)/foF2(день): уточнение ряда эффектов. Т.48 №2. С.228-240, 2008
- 3. Laštovička J., et al., Long-term trends in foF2: a comparison of varios metods. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 68.P. 1854. 2006
- 4. Laštovička J., et al, 2008 Emerging pattern of global change in the upper atmosphere and ionosphere. Ann. Geophys. V. 26 (5), P. 1255

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИЗЕМНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

#### Круглов А. А., Франк-Каменецкий А. В.

ГУ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург.

#### Введение

Проводимые на станции «Восток» в Антарктиде ( $78.5^{\circ}S$ ;  $107^{\circ}E$ ; исправленная геомагнитная широта,  $83.4^{\circ}S$ ) с 1998 г. непрерывные наблюдения вертикальной компоненты атмосферного электрического поля ( $E_z$ ), позволили количественно оценить вклад основных генераторов в величину этого поля [6]. Показано, что классическая кривая суточного хода (кривая Карнеги), наблюдаемая в периоды с «хорошей» погодой, испытывает существенные вариации, обусловленные изменением распределения потенциала ионосферы.

Цель данной работы исследовать статистическую связь между вариациями  $E_z$  и вариациями ионосферного электрического потенциала полученного из эмпирической модели Веймера. Здесь и далее имеются в виду значения потенциала той части ионосферы, которая расположена непосредственно над прибором, измеряющим приземное поле.

### Данные использованные в работе

Значения потенциала полярной ионосферы были получены из эмпирической модели Веймера [5]. В качестве входных параметров модели использовались данные по  $B_y$  и  $B_z$  компонентам межпланетного магнитного поля в системе координат GSM, скорости сол-

нечного ветра и концентрации частиц в нём. Параметры солнечного ветра были получены со спутника ACE [http://www.srl.caltech.edu/ACE/]. Модель находиться в свободном доступе по адресу [http://ccmc.gsfc.nasa.gov/models/modelinfo.php?model =Weimer].

Вертикальная компонента приземного электрического поля измеряется с помощью вращающегося электрического диполя установленного на станции «Восток» (Антарктика), с декабря 1997 в рамках совместного соглашения между Россией, Австралией и США. Прибор располагался на 1.5 м. столбе над поверхностью снега (впоследствии был установлен новый датчик на мачте высотой 2.95м), с наветренной стороны от основных зданий станции. Измерения электрического поля имеют 10-и секундное разрешение и усредняются до среднечасовых в данной работе. В дальнейшем анализе использовались данные полученные в 1998 – 2002 годах.

Металлический корпус прибора устанавливается на мачте. За счёт этого, происходит искривление эквипотенциальных линий электрического потенциала и изменение показаний датчика. Картина изменения внешнего поля конструкциями датчика и мачты приведена на рис. 1, полученная в результате решения уравнение Лапласа с соответствующими граничными условиями для цилиндрически симметричного случая [1]. В этой же работе приведены результаты абсолютной калибровки, позволившей определить коэффициент усиления внешнего поля при различных способах установки датчика.

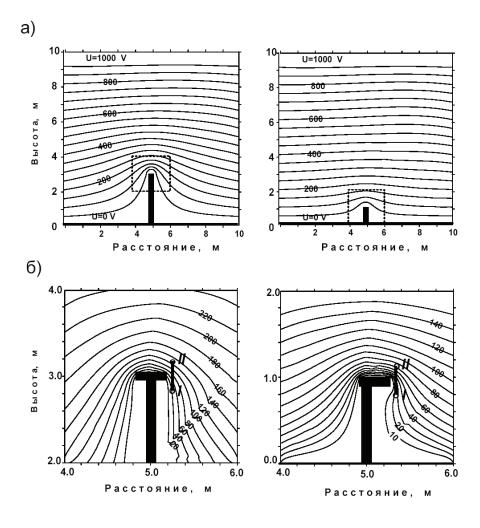


Рис. 1. Искривление эквипотенциальных линий электрического потенциала рядом с заземлённой мачтой. a) - область  $10 \times 10$  м б) - область  $2 \times 2$  м. Слева мачта высотой - 2.95м, справа - 1.5 м.

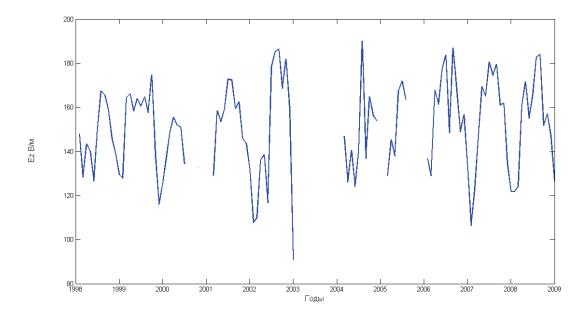


Рис. 2. Откалиброванные значения  $E_z$  за весь период наблюдений

Проведенная калибровка позволила получить значения внешнего приземного электрического поля для всего периода наблюдений независимо от способа установки датчика. Результаты этих наблюдений приведены на рис.2. Пробелы в данных это следствии поломок или крайне нестабильной работы аппаратуры. В 2003 году станция «Восток» была законсервирована, поэтому данные за этот год отсутствуют.

#### Расчёт вариаций $E_z$ и потенциала ионосферы

Вертикальная компонента приземного электрического поля состоит из трёх слагаемых:

$$E_Z = E_Z$$
локальная +  $E_Z$ грозовая +  $E_Z$ магнитосферная (1)

Локальный член формируется локальными источниками — падающий и переносимый снег, облака нижнего яруса и антропогенные аэрозоли. Значения  $E_z$ локальная могут в несколько раз превосходить сумму грозовой и магнитосферной компоненты  $E_z$ , что делает невозможным их выделение на фоне локальных возмущений. С другой стороны, при отсутствии локальных источников (условия «хорошей» погоды) локальный член  $E_z$  можно с высокой точностью считать нулевым. Условия «хорошей» погоды для ст. Восток описаны в работе [4]. Данные содержащие ненулевую локальную компоненту были исключены из дальнейшего рассмотрения.

Грозовой член формируется глобальной грозовой активностью. Согласно статье [3], в первом приближение систему Земля-ионосфера с разделяющим их, плохо проводящим слоем земной атмосферы, толщиной около 60-70 километров, можно рассматривать как гигантский сферический конденсатор. Такой конденсатор способен полностью разрядиться за 8 минут. Значит, должен существовать эффективный механизм зарядки ионосферы, который поддерживал бы разность потенциалов между ионосферой и Землёй на примерно постоянном уровне в 250~kV. Таким механизмом зарядки является глобальная грозовая активность.

Интенсивность глобальной грозовой активности имеет чётко выраженный суточный и годовой ход. Это связано с тем, что наиболее интенсивное формирование грозовых

облаков происходит в экваториальных областях планеты над континентами во время местного локального полдня. Для эффективного образования гроз необходимы мощные конвективные потоки и большое количество аэрозольных частиц, которые служат ядрами конденсации. Поэтому неравномерное долготное распределение континентов в экваториальной области планеты порождает суточный ход глобальной грозовой активности, а неравномерное широтное распределение континентов формирует годовой ход.

За счёт постоянства суточного хода грозовой активности, грозовая компонента может быть удалена из значений  $E_z$ . С этой целью для каждого отдельного месяца считается кривая среднемесячного хода. Значением кривой среднемесячного хода для определённого часа всемирного времени и определённого месяца является выборочное математическое ожидание значений  $E_z$  за указанный час всемирного времени для всех дней указанного месяца. После этого из значений  $E_z$  для каждого отдельного дня вычитается кривая среднемесячного хода. Таким образом, получаются вариации вертикальной компоненты приземного электрического поля (далее  $\Delta E_z$ ).  $\Delta E_z$  уже не содержит никакой суточной периодичности, в отличии от значений потенциала полярной ионосферы полученной из модели Веймера. Здесь имеется ввиду не полное значение ионосферного электрического потенциала а лишь вклад в него, создаваемый в полярных областях продольными токами, и определяющийся в этой работе из эмпирической модели Веймера. Поэтому потенциал рассчитанный по Веймеру подвергается той же процедуре, что и  $E_z$ . В результате получаются значения вариаций потенциала полярной ионосферы (далее  $\Delta \varphi$ ).

#### Статистический анализ $\Delta E_z$ и $\Delta \varphi$ .

Для каждого отдельного дня был рассчитан коэффициент корреляции между  $\Delta E_z$  и  $\Delta \varphi$ . Расчёты проводись с использованием среднечасовых данных, поэтому отдельно взятый коэффициент корреляции получался не более чем из 24 пар значений  $\Delta E_z$  и  $\Delta \varphi$ . На гистограмме (рис. 3) показан процент дней за период с 1998 по 2002 год, имеющих тот или иной коэффициент корреляции. Для построения гистограммы использовались только те дни, для которых было определено не менее 16 пар значений  $\Delta E_z$  и  $\Delta \varphi$ . Если принять доверительную вероятность за 95%, тогда коэффициент корреляции, полученный для 16 пар значений, может считаться статистически значимым, только если он превышает по модулю 0.47. Ввиду того, что порог статистической значимости для коэффициентов корреляции, рассчитанных по максимальному количеству пар значений (24 пары) снижается только до 0.39, можно без существенного загрубения оценок считать все коэффициенты корреляции в интервале (-0.47;0.47), статистически незначимыми. Этот интервал выделен на гистограмме вертикальными красными линиями.

Примерно 10% дней показали положительные, статистически значимые коэффициенты корреляции. Наличие отрицательных, статистически значимых, коэффициентов корреляции является, скорее всего, следствием невысокой доверительной вероятности. Ещё примерно 14% дней имеют статистически незначимые результаты. Это может быть связано с погрешностями при расчётах  $\Delta E_z$  и  $\Delta \varphi$ , или со слишком малой амплитудой вариаций на фоне амплитуды суточной вариации глобальной грозовой активности.

Полученные значения позволяют говорить о наличии линейной связи между  $\Delta E_z$  и  $\Delta \varphi$ . Этот результат согласуется с результатами аналитического решения задачи о проникновении ионосферных электрических полей, генерируемых продольными токами, в нижнюю атмосферу [2].

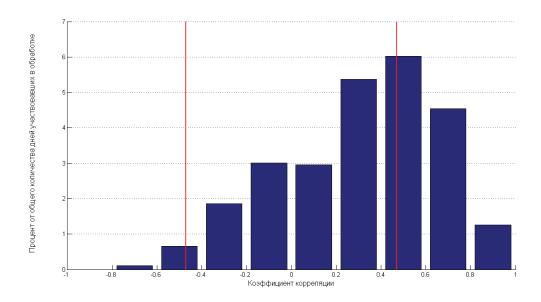


Рис. 3. Гистограмма коэффициентов корреляции между  $\Delta E_z$  и  $\Delta \varphi$  для отдельных дней исследуемого периода (1998-2002 год). Между красными линиями заключены статистически незначимые коэффициенты корреляции

На графике (рис.4) вдоль оси абсцисс отложено всемирное время в часах, а вдоль оси ординат отложены значения коэффициентов корреляции между  $\Delta E_z$  и  $\Delta \varphi$ . В данном случае каждое значение коэффициента корреляции считалось по 500-600 парам значений, поэтому при доверительной вероятности в 95%, все они статистически значимы.

Хорошо видно, что максимальный коэффициент корреляции наблюдается в дневные часы (08 – 18 UT). Низкие значения коэффициента корреляции в остальное время указывают не на отсутствие связи, а скорее на несовершенство модели распределения электрического потенциала в ионосфере, так как для отдельных дней хорошая связь этих параметров наблюдается в течение всех суток, (рис. 5).

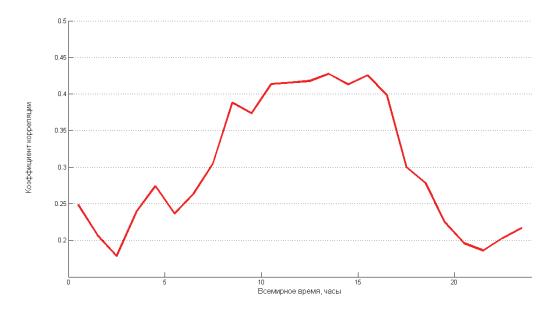


Рис. 4. График коэффициентов корреляции между  $\Delta E_z$  и  $\Delta \varphi$  для отдельных часов UT

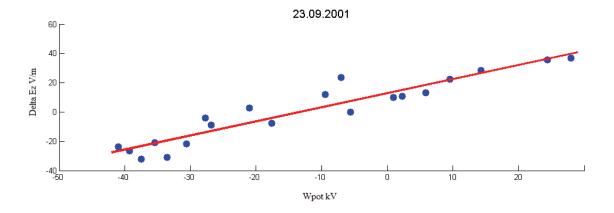


Рис. 5. Зависимость вариаций приземного электрического поля от величины потенциала ионосферы над точкой наблюдений

#### Заключение

Несомненно, доказана связь вариаций атмосферного электрического поля с вариациями электрического потенциала в ионосфере.

Однако, для построения полной картины изменений атмосферного электрического поля все доступные электродинамические характеристики высокоширотной ионосферы и атмосферы, такие как продольные токи, ионосферная и атмосферная проводимости, изменения UV радиации, потоки космических лучей и т.д., следует учитывать.

В дальнейшем целесообразно привлечь к анализу данные измерений приземного электрического тока, которые позволят оценить суточные и сезонные изменения атмосферной проводимости и ее роль в количественной оценке связи вариаций приземного поля и ионосферного потенциала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Франк-Каменецкий А. В., Р. Ю. Лукьянова., В. Н. Морозов, Г. Б. Барнс Определение реальной величины атмосферного электрического поля на станции «Восток» в Антарктиде. Сборник трудов, VI Российская конференция по атмосферному электричеству, Нижний Новгород, 2007, с. 61.
- 2. Морозов В. Н., О. А. Трошичев Моделирование вариаций полярного атмосферного электрического поля в полярной атмосфере, связанного с магнитосферными продольными токами. Геомагнетизм и аэрономия, 2008, том 48, № 6, с. 759-769.
- 3. Мареев Е. А., В. И. Трахтенгерц Загадки атмосферного электричества. Природа, №3, 2007, с. 24-33.
- 4. Frank-Kamenetsky A. V., O. A. Troshichev, G. B. Burns, V. O. Papitashvili. Variations of the atmospheric electric field in the near-pole region related to the interplanetary magnetic field. Journal of Geophysical Research, 2001, p. 179-190.
- 5. Weimer D. R. Models of high-latitude electric potentials derived with a least error fit of spherical harmonic coefficients. Journal of Geophysical Research, 1995, p. 19595-19607.
- 6. Corney R. C., G. B. Burns, E. A. Bering, K. Michal, M. L. Duldig., O. A. Troshichev, A. V. Frank-Kamenetsky. The influence of polar-cap convection on the geoelectric field at Vostok, Antarctica. Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics, feb. 2003, p. 345-354.

# ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ В СРЕДНЕЙ МАНТИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ С МИРОВОЙ СЕТИ НАЗЕМНЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ

# Семёнов А. А.<sup>1</sup>, Кувшинов А. В.<sup>2</sup>

 $^1$  ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Фёдорова, г. Москва  $^2$  Институт земного магнетизма и распространения радиоволн РАН, г. Троицк

## Вступление

Радиальные и латеральные изменения в составе мантии, предположительно, являются результатом процессов, происходящих в среднеокеанических стыках литосферных плит, где океаническая литосфера физически и химически распространяется в базальтовую земную кору. В зонах субдукции, в то же время, океаническая литосфера возвращается обратно в мантию, где может формироваться радиальное различие в количестве субдуктировавшей коры [4, 6, 15, 24]. Эти и другие исследования, включая сейсмологические обнаруживают разнородное строение мантии [3, 8, 9, 22]. Несмотря на огромные успехи сейсмологам все еще предстоит построить ясную картину происхождения больших неоднородностей [9].

Альтернативным методом изучения строения мантии является исследование свойств, которые более чуствительны к изменениям таких параметров, как состав и температура, чем упругость. Одним из возможных вариантов является электрическая проводимость, которую мы и будем рассматривать в данной работе. Лабораторные исследования показали, что она сильно зависит от температуры, состава и минералогии [20]. В связи с этим построение правильной картины электрической проводимости поможет гораздо точнее определить физический и химический состав мантии.

Инверсия длиннопериодных электромагнитных данных с сети наземных обсерваторий или околоземных спутников уже некоторое время служит источником инфомации о структуре электрической проводимости Земли, в большинстве своем одномерной [5, 14, 18, 21]. В этих моделях проводимость, в основном, возрастает с глубиной от начала литосферы через переходную зону до 1000-1500 километров. В представленном исследовании мы рассматриваем не только одномерные модели распределения, но пытаемся обнаружить и латеральные изменения проводимости.

#### Теоретическая часть

Основная цель исследования — используя данные о вариации трех компонент магнитного поля (рис. 2) с мировой сети обсерваторий (рис. 1), зная, что магнитное и электрическое поле удовлетворяют уравнениям Максвелла:

$$\nabla \times \boldsymbol{H} = \sigma(r, \theta, \varphi) \boldsymbol{E} + \boldsymbol{j}^{ext}$$

$$\nabla \times \boldsymbol{E} = i\omega \mu_0 \boldsymbol{H}$$

и предполагая, что внешний источник - кольцевой ток в магнитосфере (на периодах от 4 до 100 дней для среднеширотных обсерваторий это неплохое приближение) определить 3-х мерное распределение электрической проводимости в мантии на глубине от 400 до 1500 километров.

Для начала необходимо определить очень важное понятние – С-отклик:

$$C_a(\omega) = -\frac{R_E}{2} tg\theta \frac{Z(\omega_i, \mathbf{r}_a)}{H(\omega_i, \mathbf{r}_a)}$$

Это величина, характеризующая отношение вертикальной и горизонтальной компонент магнитного поля (рис. 4). Она обладает некоторыми очень важными свойствами [23].

Для решения поставленной задачи необходимо минимизировать функционал

$$\varphi = \varphi_d(\mathbf{m}) + \lambda \varphi_s(\mathbf{m}) \rightarrow \min.$$

Его первая часть – невязка:

$$\varphi_{d} = \sum_{a \in Sites} \sum_{\omega \in \Omega} \left( \frac{C_{a}(\boldsymbol{m}, \omega) - C_{a}^{\exp}(\omega)}{\delta C_{a}^{\exp}(\omega)} \right)^{2},$$

сумма по всем частотам и местам наблюдений отношений разности между смоделированным и экспериментальным откликами и статистической ошибки в его определении. Изменяемые параметры при этом – проводимость в мантии. То есть при разных предположениях о проводимости мы получаем различные модельные отклики. Решение сводится к минимизации разницы между ними и экспериментальными. Для сглаживания решения добавляется стабилизатор [1]. В нашем случае это градиент невязки  $\varphi_s(\boldsymbol{m}) = \nabla \varphi_d$ . Т.о. вся система регулируется параметром  $\lambda$ .

Для параметризации модели Земля разбивается на несколько одномерных слоев. Первый – поверхностный океанический слой разбивается на  $N_{\theta} \times N_{\phi}$  ячеек, затем следует несколько одномерных слоев, после чего начиная с 410 километров каждый слой снова разбивается на  $N_{\theta} \times N_{\phi}$  ячеек. Все, что глубже имеет однородную структуру заданной проводимости, в центре – идеально проводящее ядро. Ищутся логарифмы проводимостей в этих маленьких ячейках:

$$m = \left(\ln \sigma_1, \ln \sigma_2, ..., \ln \sigma_{N_m}\right)^T$$

Рис. 1. Мировая сеть обсерваторий

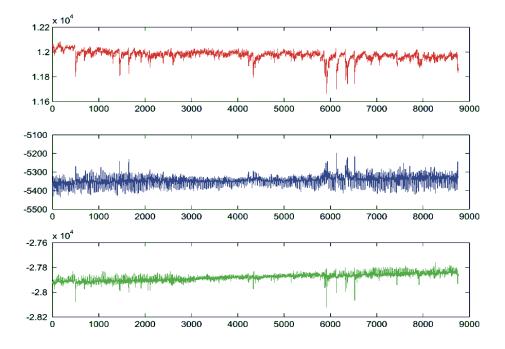


Рис. 2. Вариация магнитного поля

При решении поставленной задачи оптимизации используется квазиньютоновский алгоритм ограниченной памяти [16], при котором на каждом шаге следующее значение искомых параметров ищется в направлении "наискорейшего спуска" (градиент). На каждой итерации модельный параметр m обновляется по формуле:

$$\boldsymbol{m}^{k+1} = \boldsymbol{m}^k + \alpha_k \, \boldsymbol{p}^k,$$

$$\boldsymbol{p}^k = -B_k^{-1} \nabla \varphi^k,$$

где  $B_k^{-1}$  - аппроксимация матрицы обратной к Гессиану (BFGS метод) [16],  $\alpha_k$  - длина шага для необходимого убывания  $\phi^k$ 

Очевидно, что в этой ситуации ключевой задачей на каждой итерации становится поиск градиента невязки

$$\nabla \varphi^k = \left(\frac{\partial \varphi^k}{\partial m_1}, \frac{\partial \varphi^k}{\partial m_2}, \dots, \frac{\partial \varphi^k}{\partial m_N}\right) = \nabla \varphi_d^k + \lambda 2 W^T W m,$$

что может получится очень затратным по времени, если считать отдельно каждую компоненту.

Мы используем особый сопряженный подход [19]. Для нахождения градиента в этом случае требуется решить всего две прямые задачи: одну с нормальным источником – кольцевым током, и другую - с "магнитным источником" специального вида:

$$\boldsymbol{E}^{1} \Leftrightarrow \begin{cases} \nabla \boldsymbol{H}^{1} = \sigma \boldsymbol{E}^{1} + \boldsymbol{j}^{ext} \\ \nabla \boldsymbol{E}^{1} = i\omega \mu_{0} \boldsymbol{H}^{1} \end{cases}$$

$$\boldsymbol{E}^{1} \Longleftrightarrow \begin{cases} \nabla \boldsymbol{H}^{1} = \sigma \boldsymbol{E}^{1} \\ \nabla \boldsymbol{E}^{1} = i\omega \mu_{0} \boldsymbol{H}^{1} + \boldsymbol{h} \end{cases}$$

$$\boldsymbol{h} = -\sum_{a \in Sites} \frac{\left(C_a\left(\boldsymbol{m}, \omega\right) - C_a^{\exp}\left(\omega\right)\right)^*}{\delta C_a^{\exp}\left(\omega\right)^2} \frac{R_E t g \theta_a}{2} \left(\frac{1}{H} \boldsymbol{e}_r + \frac{Z}{H^2} \boldsymbol{e}_\theta\right) \delta_a$$

После чего скалярное произведение этих решений в заданной ячейке будет являться компонентой градиента, к ней относящейся:

$$\frac{\partial \varphi_d}{\partial m_i} = \sigma_i 2Re \sum_{\omega \in \Omega} \int_{V_i} \left( E_r^1 E_r^2 + E_\theta^I E_\theta^2 + E_\varphi^I E_\varphi^2 \right) dv$$

Таким образом, чтобы резюмировать теоретическую часть, мы ищем проводимости в ячейках на глубине в мантии, чтобы модельный отклик был максимально близок к экспериментальному, при этом проводимости в соседних ячейках отличались не сильно. Делается это одним из стандартных численных методов минимизации. Градиент для ускорения процесса считается особым "сопряженным" образом.

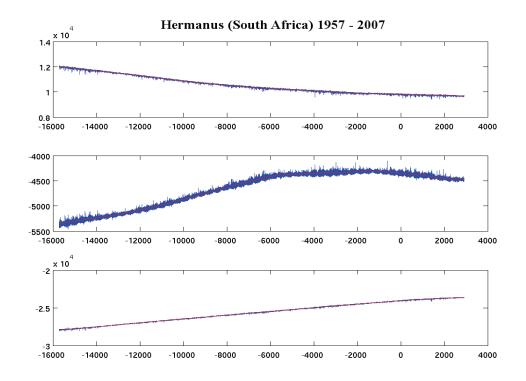
#### Работа с данными

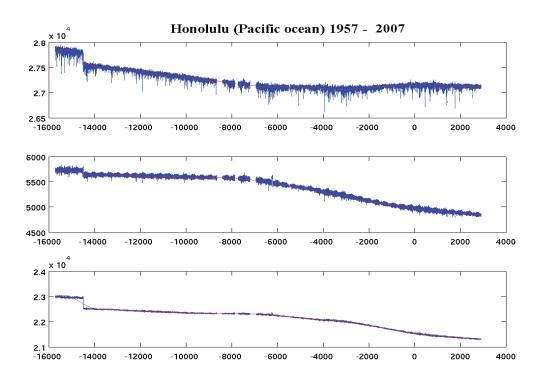
Одним из важнейших шагов исследования является сбор и обработка данных. Для анализа мы использовали три компоненты магнитного поля с каждой из 281 обсерваторий, информацию о которых можно найти в мировом центре данных в Эдинбурге. Некоторые, как например Германус очень гладкие и без перерывов поставляли информацию на протяжении многих лет, но таких немного. На некоторых можно в какой-то момент наблюдать скачок, связанный, скорее всего, с какими-то чисто техническими причинами — замена оборудования, перенос измерений в другое место, яркий пример — Гонолулу в Тихом океане (рис. 3).

На некоторых станциях данные вообще немного странные и использовать и анализировать их не представляется возможным (Ибадан в Африке, например). Очень часто бывает так, что запись велась непостоянно (Ланжоу в Китае), хотя и качественно.

Чтобы оценить С-отклики берутся все доступные среднечасовые значения магнитного поля на каждой из 207 среднеширотных обсерваторий (на обсерваториях за полярным кругом уже очень сильное воздействие оказывают авроральные токи в ионосфере, поэтому предположение о кольцевом токе перестает быть верным) с 1957 по 2007 год. Затем выбирается адекватный промежуток времени для анализа (как можно более длинный и, если возможно, без аномального поведения — скачков, разрывов и т.д.). После чего убирается долгосрочная вариация, связанная с изменениями в ядре. Затем методом усреднения по секциям [17] ищутся сам отклик, статистическая ошибка и когерентность. На основе этого анализа из полученных откликов выбираются хорошие. Критерии — высокая когерентность, монотонное поведение. В результате были отобраны 133 обсерватории.

Полученные отклики очень сильно различаются и в реальной, и в мнимой частях (Рис. 4). Часто это может быть связано совсем не с тем, что картина проводимости под станциями настолько различна. Огромный вклад могут вносить океанический [11] и авроральный [7] эффекты.





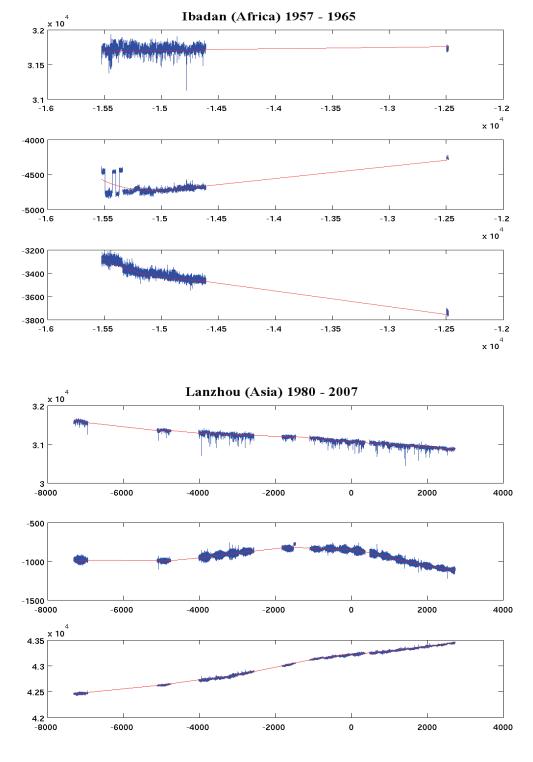


Рис. 3. Три компоненты магнитного поля на обсерваториях Германус (Южная Африка), Гонолулу (Тихий океан), Ибадан (Африка) и Ланжоу (Китай)

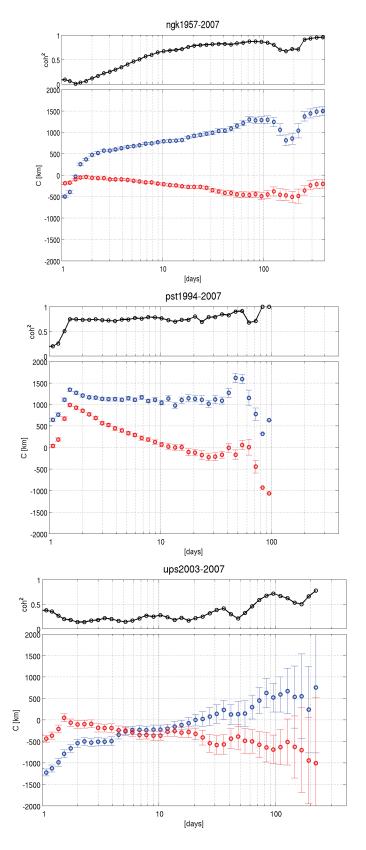


Рис. 4. Примеры экспериментальных откликов. Нормальный вид (обсерватория Нимек в Германии), океанический эффект (Порт Стэнли в Южной Америке), авроральный эффект (Упсала в Швеции).

#### Реальная инверсия

В качестве входных параметров для реальной инверсии в итоге удалось отобрать отклики со 133 обсерваторий, посчитанные для периодов от 4 до 110 дней в предположении кольцевого тока. Модель была дискретизирована на 6 слоев различной глубины с разрешением 5 на 5 градусов (рис. 5). Так же был положен поверхностный океанический слой заданной интегральной проводимости (рис. 6).

Искомые параметры – логарифмы проводимостей:

$$(\boldsymbol{m} - \boldsymbol{m}_a) = \left(\ln \frac{\sigma_1}{\sigma_{a_1}}, \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_{a_2}}, ..., \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_{a_2}}\right)^T$$

где  $\boldsymbol{m}_a$  - априори модель, стабилизатор — аппроксимация градиента конечными разностями:

$$\varphi_s\left(\boldsymbol{m}-\boldsymbol{m}_a\right) = \left(W\left(\boldsymbol{m}-\boldsymbol{m}_a\right)\right)^T \left(W\left(\boldsymbol{m}-\boldsymbol{m}_a\right)\right).$$

Невязка после 5-8 итераций падает до 2, затем очень медленно начинает приближаться к 1, что идеально. Для выбора правильного регуляризационного параметра мы использовали L-кривую [1].

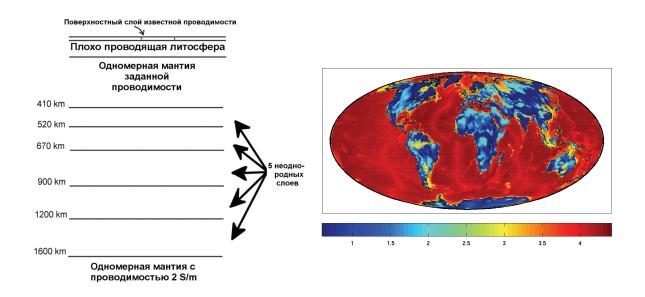


Рис. 5. Боковой разрез модели

Рис. 6. Интегральная проводимость океанического слоя.

#### Результаты

Слева на рис. 7 результаты нашей инверсии в слоях от 410 до 520 километров, от 520 до 670, от 670 до 900, от 900 до 1200 и от 1200 до 1600. Справа для сравнения результаты американских ученых недавно опубликованные в Nature [10]. Что важно отметить – растущую проводимость от слоя к слою. Так же и слева и справа, вероятно, клю-

чевой особенностью является зона повышенной проводимости под северо-западной зоной Тихого океана. Лучше всего это видно, наверное, на последней картинке. Эти результаты согласуются друг с другом. В нашем же случае еще можно отметить необычную повышенную проводимость под южной оконечностью Африки, зону пониженной проводимости под Европой, что видно и на правых картинках.

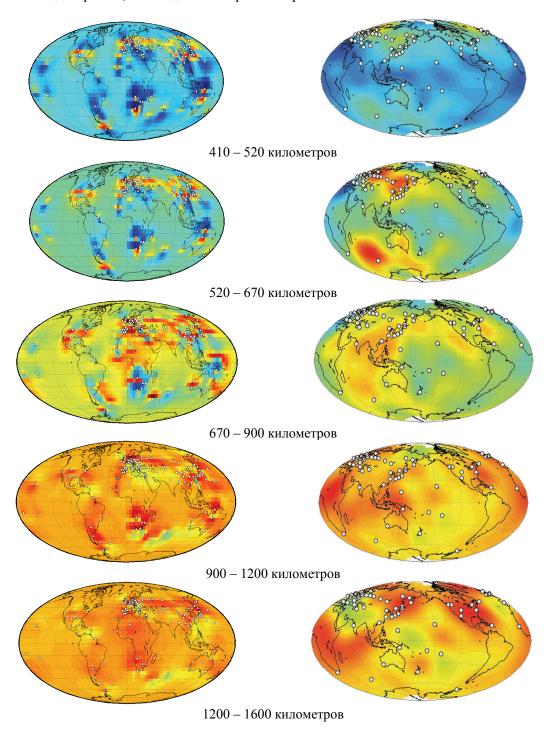


Рис. 7. В левой колонке результаты наших исследований, в правой – результаты Kelbert et. al., 2009. Что следует отметить, в чем разниза исследований. Различные параметризации, различные методы оптимизации, различное покрытие обсерваториями 133 в нашем случае и вдвое меньше у них. Для ясности при сравнении - на левых картинках в центре находится Африка, на правых – Тихий океан.

#### Заключение и планы дальнейшего исследования

Первые запуски 3-хмерной инверсии наземных С-откликов показали работоспособность и эффективность новой схемы глобальной 3-хмерной инверсии. Результаты инверсии говорят о сильной неоднородности, как радиальной, так и латеральной, в мантии (как минимум один порядок). И совершенно понятно, что необходим более аккуратный учет океанического эффекта, чтобы исключить возможные "искусственные" аномалии.

В планах более аккуратный учет океанического эффекта, исследование прочности результатов по отношению к стартовым значениям, разрешению и в радиальном, и тангенсальном направлениях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Жданов М.С. Теория обратных задач и регуляризации в геофизике, Научный мир, 2007
- 2. Banks, R. Geomagnetic variations and the electrical conductivity of the upper mantle, Geophys. J. R. Astr. Soc., 17, 457-487, 1969
- 3. Becker, T. & L.Boschi, A comparison of tomografic and geodynamic mantle models, Geochem. Geophys. Geosys., 3, doi:10.1029/2001GC000168,2002.
- 4. Christensen, U.R. & Hofmann A.W., Segregation of subducted oceanic crust in the convecting mantle, J. Geophys. Res., 99, 19867, 1994
- 5. Constable, S. & C. Constable, Observing geomagnetic induction in magnetic satellite measurements and associated implications for mantle conductivity, Geochem. Geophys. Geosys., 5, Q01006, doi:10.1029/2003GC000634, 2004.
- 6. Davies, G., Gravitational depletion of the earthly Earth's upper mantle and the viability of early plate tectonics, Earth Planet. Sci. Lett., 243, 376, 2006.
- 7. Fujii I. & Schultz A. Geophys. J. Int., 151, 689–709, 2002.
- 8. Grand, S.P., Mantle shear structure beneath the americas and surrounding oceans, J. Geophys. Res., 99, 11591, 1994
- 9. Hellfrich, G.R. & B.J. Wood, The Earth's Mantle, Nature, 412, 501, 2001
- 10. Kelbert, A., A. Schultz, G. Egbert & A. Kuvshinov, Global electromagnetic induction constraints on transition-zone water content variations, Nature, 460, doi:10.1038/nature08257, 2009.
- 11. Kuvshinov, A.V. 3-D Global induction in the oceans and solid Earth: recent progress in modeling magnetic and electric fields from sources of magnetospheric, ionospheric and oceanic origin, Surv Geophys. 29:139-186, 2008.
- 12. Kuvshinov, A. V., N. Olsen, D. B. Avdeev, and O. V. Pankratov, Electromagnetic induction in the oceans and the anomalous behaviour of coastal C-responses for periods up to 20 days, Geophys. 863 Res. Lett., 29, doi:10.1029/2001GL014,409, 2002.
- 13. Kuvshinov, A., H. Utada, D. Avdeev & T. Koyama, 3-D modeling and analysis of Dst C-responses in the north pacific ocean region, revisited, Geophys.J. Int., 160, 505, 2005.
- 14. Kuvshinov A. & N. Olsen, A global model of mantle conductivity derived from 5 years of CHAMP, rsted, and SAC-C magnetic data, Geophys. Res. Lett., 33, L18301, doi:10.1029/2006GL027083, 2006.
- 15. Nakagawa, T., P. J. Tackley, F. Deschamps & J. A. D. Connolly, Incorporating self-consistently calculated mineral physics into thermo-chemical mantle convection simulations in a 3D spherical shell and its influence on seismic anomalies in Earth's mantle, Geochem, Geophys, Geosystems, 10, Q03004, doi:10.1029/2008GC002280,2009
- 16. Nocedal J. & S.J. Wright, Numerical optimization, Springer, 2006
- 17. Olsen N. The electrical conductivity of the mantle beneath Europe derived from C-responses from 3 to 720 hr, Geophys J. Int., 133, 298-308, 1998

- 18. Olsen N., Long-period (30 days 1 year) electromagnetic sounding and the electrical conductivity of the lower mantle beneath Europe, Geophys. J. Int., 167, 361, 1999
- 19. Pankratov O., Kuvshinov A. General formalism for the efficient calculationg the derivatives of EM frequency-domain responses and the derivatives of the misfit, Geophys. J. Int., in press, 2010
- 20. Tyburczy, J.A. & D.K. Fisler, Electrical properties of minerals and melts, in T.J. Ahrens (Ed.), Mineral Physics and Crystallography: A Handbook of Physical Constants, AGU, Washington DC., 185, 1995.
- 21. Utada, H., T. Koyama, H. Shimizu, A. D. Chave, A semi-global reference model for electrical conductivity in the mid-mantle beneath the North Pacific region, Geophys. Res. Lett., 30, 1194, doi:10.1029/2002GL016092, 2003.
- 22. Van der Hilst, R., R. Engdahl, W. Spakaman & G. Nolet, Tomographic imaging of subducted lithosphere below northwest Pacific island arcs, Nature, 353, 37, 1991.
- 23. Weidelt P., The inverse problem of geomagnetic induction, Zeitschrift fuer Geophysik, 38, 257-289, 1972.
- 24. Xie, S. & P. J. Tackley, Evolution of helium and argon isotopes in a convecting mantle, Phys. Earth Planet. Inter., 146, 417, 2004.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СКОЛЬЗЯЩЕЙ АВТОРЕГРЕССИИ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ИНДЕКСА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ F10,7

#### Сергеев А. Е.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е .К. Фёдорова, г. Москва

Проблема точной оценки уровня солнечной активности является одной из необходимых задач в современных научных и практических работах.

Для оценки солнечной активности применяются специальные индексы, напрямую связанные с реальными потоками электромагнитного излучения. В гелиогеофизической среде часто используют индекс солнечной активности  $F_{10,7}$ , являющийся входным параметром многих вычисляемых единиц, используемых в баллистике, космическом материаловедение, ионосферных расчетах, моделях атмосферы ([2], [6], [7]). Индекс  $F_{10,7}$  представляет собой спектральную плотность потока радиоизлучения на волне 10,7 см (частота  $2800~\text{М}\Gamma\text{ц}$ ) и введен в 1963~г. Он измеряется в солнечных единицах потока (с.е.п.),  $1~\text{с.e.n.} = 10^{-22}~\text{Вт/(м}^2 \cdot \Gamma\text{ц})$ . [8]

Прогнозирование как специальное научное исследование конкретного развития процесса солнечной активности, является, несомненно, важной задачей современной науки. Прогнозы делятся по срокам на краткосрочные и долгосрочные. Краткосрочное прогнозирование индексов солнечной активности — прогнозирование на ближайшее будущее сроком до 30 суток.

Для составления краткосрочного прогноза основного индекса солнечной активности  $F_{10,7}$  был выбран авторегрессионный метод для приближённого представления заданной функции другой, более простой функцией. Этот способ не дает истинных, но зато дает наиболее вероятные значения.

Авторегрессионные методы использовались и ранее для прогноза индекса солнечной активности  $F_{10,7}$ , см., например, методические указания, сведенные в Руководящий документ, (далее РД). Согласно РД, коэффициенты регрессии одинаковы для любого соответствующего периода прогноза (минимального, среднего и максимального) и рассчитаны для относительно короткого (менее 30 лет) периода, что не позволяет достичь высокой точности прогноза. [3]

Систематические измерения  $F_{10,7}$  делаются уже более 60 лет. К моменту создания РД коэффициенты для расчета были определены по данным трех солнечных циклов, а сейчас имеется возможность анализировать до шести солнечных циклов. Помимо того, можно ожидать, что для различных циклов и уровней активности коэффициенты могут изменяться.

В основе нашей работы был также использован авторегрессионный метод, но с ежедневным применением получаемых в результате наблюдений новых данных для составления актуальных коэффициентов краткосрочного прогноза. Расчет производился по формуле [4]:

$$F_k = a_0 + a_1 \cdot F_1 + a_2 \cdot F_2 + \dots + a_{k-1} \cdot F_{k-1}$$
 (1)

где, значение прогноза  $F_k$ , соответствует k-ому дню от момента прогноза (k=0),  $a_i$  получается в результате анализа всех имеющихся данных об индексе  $F_{10,7}$ , коэффициенты авторегрессии рассчитываются для каждой конкретной даты составления прогноза.

Для прогнозирования и проверки метода использовались современные данные об индексе  $F_{10,7}$  по станциям Оттава, а затем Пентиктон. [5]. Анализ этих данных показал возможность использовать для прогнозирования индекса  $F_{10,7}$ , без заметной потери точности, коэффициенты  $a_i$ , полученные на отрезке 500 дней, предшествующих дню выдачи среднеквадратичного отклонения прогнозируемого индекса солнечной активности. На рис. 1 и рис. 2 показаны примеры среднеквадратичного отклонения прогнозируемой на 30 дней величины солнечной активности.

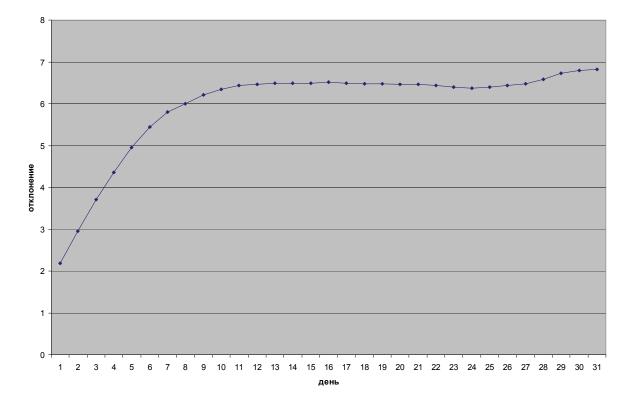


Рис. 1. График среднеквадратичного отклонения для прогноза солнечной активности при минимуме за период 1996-2007гг.

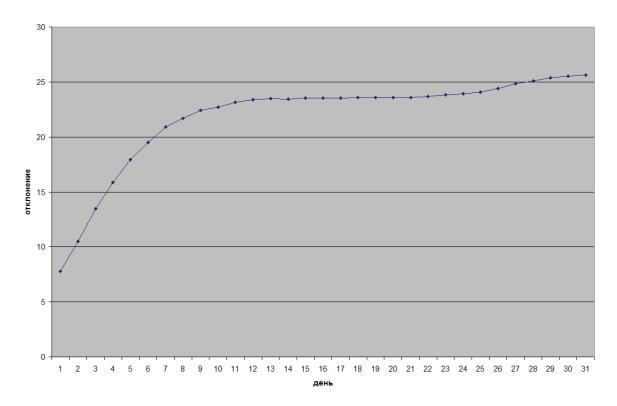
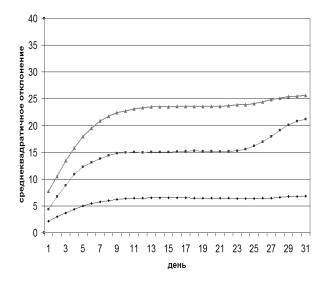


Рис. 2. График среднеквадратичного отклонения для прогноза солнечной активности при максимуме за период 1992-2001гг.

В РД используется метод авторегрессии для которого коэффициенты вычислены для трех уровней активности (в соответствии с ГОСТ 25645.102-83.[1]): а) низкий -  $F_{10,7} \le 100*10^{-22}$  Вт /м²\*Г $\mu$ ; б) средний -  $100*10^{-22}$  Вт /м²\*Г $\mu$  <  $F_{10,7} \le 150*10^{-22}$  Вт /м²\*Г $\mu$ ; в) высокий -  $100*10^{-22}$  Вт /м²\*Г $\mu$  <  $F_{10,7}$  [3]. Погрешность метода для различных уровней активности выполнялась путем сравнения прогнозируемых данных и наблюдаемых значений  $F_{10,7}$  для каждой величины заблаговременности (от 1 до 30 лет) на материале за период. Результаты оценки приведены на рис. За. Видно, что ошибка прогноза увеличивается с заблаговременностью, а затем значение среднеквадратичного отклонения к 8 дню прогноза выравнивается и далее практически не изменяется.

На рисунках За и Зб для сравнения приведены графики среднеквадратических отклонений значений для интервалов прогнозирования от 1 до 30 суток и трех уровней солнечной активности, полученные методом скользящей авторегрессии и представленные в РД. Сравнивая полученные данные с представленными в РД, видно значительное уменьшение среднеквадратичного отклонения прогнозируемых данных от наблюдаемых, что позволяет сделать вывод, что новые данные, полученные при помощи скользящего метода авторегрессии, рассчитанного на современных вычислительных мощностях, являются более точными. В отличие от метода, применяемого в РД, точность прогноза увеличивается при использовании скользящего метода авторегрессии, посредством применения современной электронно-вычислительной аппаратуры, что позволяет рассчитывать коэффициенты для уравнения наименьших квадратов для каждого дня в отдельности, а не применять усредненные значения коэффициентов уравнений как постоянные.



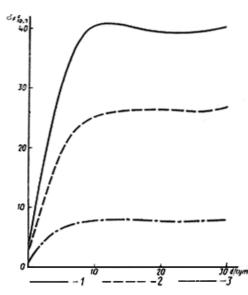


Рис. 3а. Среднеквадратические отклонения значений для интервалов прогнозирования от 1 до 30 суток, полученные прогнозированием методом скользящей авторегрессии.

Рис. 3б. Среднеквадратические отклонения значений для интервалов прогнозирования от 1 до 30 суток и трех уровней солнечной активности, представленные в «Руководящем документе по стандартизапии»

Сформулируем основные выводы работы:

- 1) предложен метод скользящей авторегрессии, позволяющий, использовать современные возможности вычислительной техники, более точно выполнять краткосрочный прогноз индекса солнечной активности  $F_{10.7}$ ;
- 2) апробация метода на архивных данных показывает значительное уменьшение погрешности метода при краткосрочном прогнозировании (примерно в 1,6 раз по сравнению с существующими методами);
- 3) коэффициенты авторегрессии рассчитываются для каждой конкретной даты составления прогноза, что может существенно улучшить качество прогноза состояния геофизических сред, для которых используется индекс  $F_{10.7}$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Атмосфера Земли верхняя. Методика расчета характеристик вариаций плотности. ГОСТ 25645.102-83. 1984. М.: Государственный комитет СССР по стандартам.
- 2. Атмосфера Земли верхняя. Модель плотности для проектных баллистических расчетов искусственных спутников Земли. ГОСТ 25645.101-83. 1984. М.: Государственный комитет СССР по стандартам.
- 3. Методические указания. Атмосфера Земли верхняя. Методика расчета индексов солнечной и геомагнитной активности для определения плотности. РД 50-25645.120-85. 1987.М.: Государственный комитет СССР по стандартам.
- 4. Разработка методов количественного учета проявлений солнечной активности и эволюции геоэффективного излучения Солнца на основе наблюдений в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазоне. Отчет ИПГ 074.09.08.02 1.08.03. Москва: 1988 г.

- 5. Значения индекса солнечной активности F10,7, ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/stp/geomagnetic\_data/indices/kp\_ap/ National Oceanic and Atmospheric Administration
- $6.\ Model\ of\ the\ Upper\ Atmosphere.\ MSISE-90\ (Mass\ Spectrometer\ -\ Incoherent\ Scatter), \\ http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/atmos/msise.html$
- 7. International Reference Ionosphere, http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/ionos/iri.html
- 8. Солнечная активность. В. Н. Ишков, Э. В. Кононович, 1997, http://crydee.sai.msu.ru/Universe and us/1num/v1pap4.htm

# О СУЩЕСТВОВАНИИ В ОБЛАСТИ МИНИМУМА ЧАСТОТЫ СОУДАРЕНИЙ F1-КАНАЛА СВЕРХДАЛЬНЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЕКАМЕТРОВЫХ РАДИОВОЛН

# Суханов А. М., Абрамов С. В.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е .К. Фёдорова, г. Москва

Профиль частоты соударений v(h) играет самую существенную роль при расчётах затухания радиоволн в ионосфере. Применительно к диапазону декаметровых радиоволн вопрос имеет очень давнюю историю [2, 5]. Здесь рассматривается лишь один важный вопрос — наличие минимумов в зависимости v(h). На рис. 1 даны наиболее достоверные данные о v(h)- профиле, которые получены во время пусков ГФР «Вертикаль» [3].

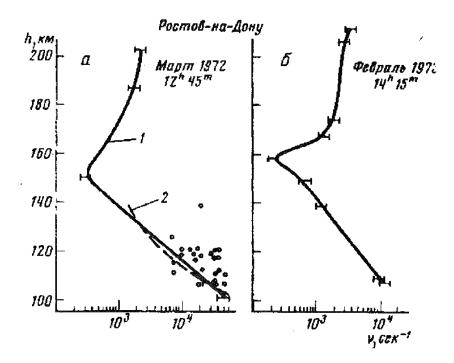


Рис. 1. Высотные профили частоты соударений по данным прямых измерений 1 — данные ракетных измерений, горизонтальные отрезки — погрешности. 2 — данные наземных измерений.

Обращает на себя внимание наличие глубокого минимума  $\nu$ (h)- профиля на высоте примерно 140-150 км. Значения  $\nu$ (h<sub>min</sub>) существенно ниже, чем  $10^3$  сек<sup>-1</sup>. Высота h<sub>min</sub> заключена в пределах 150-160 км, что соответствует области F1.

Это приводит к гипотезе о важной роли такого минимума при распространении радиосигналов на сверхдальних радиотрассах. Для того чтобы рассмотреть эту роль следует обратиться к анализу экспериментальных данных по трансполярным кругосветным сигналам (КС), сопоставляемых с ионосферными данными по материалам долгосрочного прогноза максимально применимых частот (МПЧ). Здесь известен ряд результатов работ [7, 4]. Цель проводимого в них анализа – показать, что в ионосферных условиях конца осени 1971 г., характеризуемых долгосрочным прогнозом МПЧ, действительно было возможно наблюдение кругосветных сигналов в утреннее и вечернее время, как это имело место в эксперименте. В качестве типового примера суточной изменчивости возможности регистрации КС рассматриваются данные, полученные 23.11.1971г. На рис. 2 представлено меридиональное распределение максимально применимых частот МПЧ-F2-4000 и МПЧ-F1-3000 в осенне-зимний сезон при солнечной активности W=80, для  $10^{\rm h}$  LT.

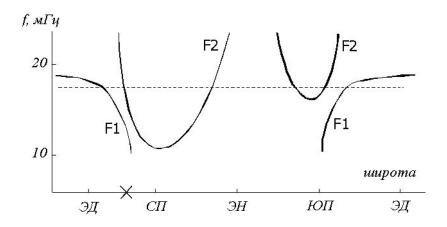


Рис. 2. Меридиональное распределение МПЧ областей F в утреннее время. Пунктир значение рабочей частоты.

По оси ординат отложена широта в градусах для волны излучаемой в сторону Севера, отмечены точки, соответствующие Северному и Южному полюсам (знаки СП и ЮП), а также дневному и ночному пересечениям меридиана с экватором (знаки ЭД и ЭН). К  $10^{\rm h}$  LT ионосфера в районе половины максимальной длины скачка «сгустилась» настолько, что стало возможно отражение радиоволн от неё. В это время выполнилось равенство  $f_p = \text{МПЧ-F2-4000}$ . Появились отражённая волна и связанные с ней сигналы ВНЗ и скользящая волна, ответственная за кругосветные сигналы. Относительная близость этих величин в районе вершины первого скачка будет иметь место в течение дневного времени, вплоть до 16 часов. Рис.2 позволяет проследить утреннюю эволюцию волнового пакета при его кругосветном движении. В интервале широт от  $70^{\rm o}$  с.ш., но уже в другом полушарии локальная МПЧ-F2-4000 будет ниже, чем  $f_p$ . При этом должен происходить «отрыв» области распространения радиоволн от земной поверхности. «Скачковая» часть полного поля будет подавлена дополнительным поглощением в полярной шапке (ППШ) [1, 6].

Основное «энергетическое русло» скользящей волны при этом будет находиться в толще внутренней части области F2. Нижний край волнового фронта будет выше областей D и E. На средних и низких широтах ночного полушария по обе стороны от пересечения меридиана с экватором рабочая частота  $f_p$  существенно ниже МПЧ-F2-4000 ночной

ионосферы. Однако, здесь отсутствуют поглощающие слои D и E. Поэтому погонное затухание  $\sim 0.5$  дБ/тыс.км будет иметь место как для скользящей волны, так и для возможно возникающей на этом участке «скачковой» волны. После прохождения волной Южной полярной области становится существенной роль области F1 вплоть до области Суэцкого перешейка. То есть на средних и низких широтах дневного полушария распространение скользящей волны проходит за счёт направляющего действия области F1. Естественно предположить, что это происходит в области минимума частоты соударений. Для условий эксперимента величина МПЧ-F2-4000 в приэкваториальной области чуть ли не вдвое превышает  $f_p$ , что сделало бы невозможным движение волновых пакетов в виде скользящей волны. Но, как отмечено выше на высотах локализации области F1 находится минимум частоты соударений [3]. Здесь локальное погонное затухание может быть даже ниже, чем её средняя величина для кругосветного сигнала, по данным многочисленных экспериментов заключённая в пределах 0,2-0,7 дБ/тыс.км. [8].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Акасофу С. Полярные сияния и магнитосферные бури.- М.: Мир. 1971. 315 с.
- 2. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М.: Наука, 568 с., 1979
- 3. Бирюков А.В., Н.П. Данилкин , П.Ф Денисенко.и др. Измерение концентрации и частоты соударений электронов во время полёта геофизической ракеты «Вертикаль-4». Космические исследования. 1978. Т.XVI. Вып.5.С. 715-719.
- 4. Васькин А.А., Ю.К. Калинин Трансполярное распространение мощных кругосветных волн декаметрового диапазона. Доклад на XIII международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь». Воронеж. 2007
- 5. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. -М.: Мир, 1973.
- 6. Ионосферно-магнитная служба. Сборник под ред. С.И. Авдюшина и  $\,$  А.Д. Данилова.  $\,$   $\,$  Л.: Гидрометеоиздат, 1987
- 7. Калинин Ю.К., М.Г. Кузьменко, А.А. Романчук, Н.П. Сергеенко. Воздействия ионосферных макромасштабных неоднородностей на радиосигналы в условиях высокочастотного наклонного нагрева. Геомагнетизм и аэрономия, № 5, с. 89, 2000 г.
- 8. Основы загоризонтной радиолокации Под ред. А.А.Колосова. –М.: Радио и связь, 1982.

# КОРРЕКЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ИОНОСФЕРЫ IRI 2001 ПО ДАННЫМ ВОЗВРАТНО-НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

# Тетерин К. А.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова, г. Москва

#### Введение

При осуществлении коротковолновой радиосвязи на дальние расстояния и решении задач обнаружения целей, в настоящее время, широкое применение нашли эмпирические модели ионосферы, которые вместе с программой моделирования распространения кв. волн в ионосфере позволяют рассчитать необходимые характеристики сигналов (дальность скачка по земле, углы прихода, временную задержку). В данном случае в качестве эмпирической модели берется модель ионосферы IRI. Модель ионосферы IRI может по заданным времени и координатам определять высотный профиль концентрации электронов в ионосфере, в ней используется глобальный ионосферный индекс, определяющийся на основе измерений множества станций вертикального зондирования. Данные для этой модели берутся из многолетних измерений параметров ионосферы

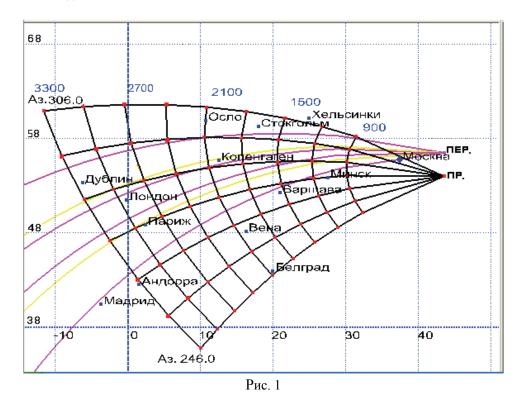
многочисленными геофизическими методами (вертикальное радиозондирование ионосферы (ВЗ), радиозондирование ионосферы со спутников, некогерентное рассеяние, ракетные измерения и т.д.), проводимых в разных уголках земного шара при различных значениях числа солнечных пятен и глобального ионосферного индекса. По этим измерениям можно восстановить профиль электронной концентрации (Nh-профиль) и, следовательно, интерполировать его параметры на интересующую точку земли в заданный момент времени при заданных значениях числа солнечных пятен и глобального ионосферного индекса. Поскольку измерения числа солнечных пятен и глобального ионосферного индекса проводятся в течение многих лет, в модели IRI заложен их ход во времени. Недостаток состоит в том, что в модели даны их усредненные на каждый месяц значения, в течение же месяца эти характеристики изменяются хаотично, и их изменения могут быть довольно существенными. К тому же, если интерполируемая точка находится далеко от мест, где проводились исследования ионосферы геофизическими методами, то интерполяция может получиться весьма неточной [1]. Все это приводит к тому, что такую модель IRI не всегда можно использовать в оперативной работе. А можно ли эти проблемы как-то преодолеть? Можно решать эту проблему путем локального адаптирования модели к реальным гео-гелиофизическим условиям в данный момент времени с помощью данных ВЗ, получаемых на месте. Но для радиосвязи представляется интересным использовать данные возвратно - наклонного зондирования, так как эти данные характеризуют состояние ионосферы вдоль радиотрасс, используемых в радиосвязи.

#### Описание метода

В широком диапазоне азимутальных направлений и углов места излучается последовательно набор частот, и в промежутках между 2-мя актами излучения включается приемник для принятия последнего излученного сигнала. Излученный в небо сигнал, рефрагируя или претерпев отражение в ионосфере, может начать двигаться в сторону земли. Поскольку поверхность земли негладкая, на ней произойдет рассеяние сигнала во все стороны, часть рассеется назад и будет принята приемником. С помощью цифрового формирования диаграммы направленности (ЦФДН) по азимуту происходит разделение принятого сигнала на сигналы, пришедшие с разных азимутов. Отражение сигнала, излученного в широком диапазоне углов места, происходит от участков земной поверхности с широким интервалом удаленности от излучателя, поэтому принятый нами сигнал представляется в виде совокупности сигналов, отраженных от различных участков земной поверхности и имеющих различные групповые пути и траектории движения.

На рис. 1 изображена схема разнесенного возвратно-наклонного зондирования. Пер. – передатчик, пр. – приемник, широты, долготы и азимуты в градусах, расстояние до приемника в км. Вертикальные пунктирные линии – отсчеты долготы, горизонтальные – отсчеты широты, черные линии, идущие от приемника, – азимутальные направления. После обработки можно определить интервал групповых задержек отраженных с различных участков земной поверхности сигналов. Прозондировав ионосферу набором частот, мы строим экспериментальную зависимость минимального времени распространения сигнала от частоты – экспериментальную дистанционно-частотную характеристику (ДЧХ). Далее пишется программа, которая моделирует распространение радиоволн в ионосфере (рассчитывает дальность скачка, групповое запаздывание и углы прихода), беря данные о состоянии ионосферы из модели IRI. Для каждой частоты из того же набора частот с помощью этой программы определяется наименьшее время распространения сигналов. Нужно помнить, что при зондировании ионосферы диапазон углов места излученного сигнала должен содержать углы, на которых достигаются наименьшие времена распространения сигналов на каждой частоте из набора частот. Таким образом, эта программа формирует ДЧХ, как если бы ионосфера вдоль распространения сигналов соответствовала ионосфере, взятой из модели ионосферы IRI. Это есть модельная ДЧХ.

Если модельная ДЧХ сильно отличается от экспериментальной, то можно скорректировать некоторые параметры модели IRI, например, глобальный ионосферный индекс, число солнечных пятен или планетарные индексы магнитной активности, благо есть возможность для их ручного ввода в модель. При коррекции этих параметров мы отталкиваемся от усредненных за каждый месяц значений этих параметров, используемых в самой модели IRI. В отличие от ВЗ, при возвратно-наклонном зондировании сигнал подвергается влиянию тех же факторов, что и сигналы радиосвязи и обнаружения целей, а именно, влиянию ионосферы на удалениях до нескольких тысяч километров в заданном азимуте. Естественно ожидать, что по параметрам сигнала ВНЗ можно судить о состоянии ионосферы в указанной области и, следовательно, об особенностях распространения сигналов радиосвязи. Это и объясняет причину выбора данных ВНЗ, как исходной информации для адаптирования. Коррекция может делаться для каждого интересующего азимутального направления отдельно, тогда мы получаем адаптированную к данному моменту времени в данном регионе для использования в оперативной работе в дальней радиосвязи и при обнаружении целей модель IRI. Характерное время стационарности ионосферы порядка 3-15 мин. (в зависимости от времени суток). Значит, суммарное время осуществления ВНЗ, обработки полученных результатов и коррекции должно быть меньше указанного промежутка времени, в оставшееся время можно осуществлять радиосвязь и т.д.



# Алгоритм расчета

Важным компонентом коррекции является программа, моделирующая распространение радиоволн в ионосфере. Исходное уравнение распространения для геометрооптического приближения есть:

$$n_2 r_2 \cos \varphi_2 = n_1 r_1 \cos \varphi_1 + \int_{l(r_1)}^{l(r_2)} n_{\theta} dl$$
 [2],

где dl - элемент длинны луча, l - координата вдоль луча,  $\varphi_i$  - угол распространения луча относительно направления, перпендикулярного радиус-вектору, проведенного из центра земли в данную точку, интеграл берется вдоль траектории движения луча от точки "1" с радиус-вектором  $r_1$  и показателем преломления  $n_1$  до точки "2" с радиус-вектором  $r_2$  и показателем преломления  $n_2$ ,  $\theta$  - геоцентрический угол, а  $n_{\theta}$  - производная показателя преломления по геоцентрическому углу. Преобразуем это выражение:

$$tg\varphi_{2} = \frac{\sqrt{n_{2}^{2}r_{2}^{2} - (n_{1}r_{1}\cos\varphi_{1} + \int_{l(r_{1})}^{l(r_{2})}n_{\theta}dl)^{2}}}{n_{1}r_{1}\cos\varphi_{1} + \int_{l(r_{1})}^{l(r_{2})}n_{\theta}dl},$$

или

$$tg\varphi(\theta,r) = \frac{\sqrt{n(\theta,r)^{2}r^{2} - (n_{1}r_{1}\cos\varphi_{1} + \int_{l(r_{1})}^{l(r)} n_{\theta}(\theta(l),r(l))dl)^{2}}}{n_{1}r_{1}\cos\varphi_{1} + \int_{l(r_{1})}^{l(r)} n_{\theta}(\theta(l),r(l))dl}.$$

Поскольку

$$tg\varphi = \frac{dr}{r \cdot d\theta},$$

получаем: 
$$\frac{dr}{d\theta} = \frac{r\sqrt{n(\theta,r)^2\,r^2 - (n_1r_1\cos\varphi_1 + \int\limits_{l(r_1)}^{l(r)} n_\theta(\theta(l),r(l))dl)^2}}{n_1r_1\cos\varphi_1 + \int\limits_{l(r_1)}^{l(r)} n_\theta(\theta(l),r(l))dl},$$

где под индексом "1" обозначаются известные параметры некоторой точки вдоль линии распространения луча,  $\theta$  увеличивается по направлению распространения луча. Мы учитываем продольные к лучу горизонтальные градиенты показателя преломления, но пренебрегаем поперечными и влиянием магнитного поля земли, поэтому траектория движения лежит в одной плоскости. Интегрирование полученного дифференциального уравнения проводим методом Рунге-Кутта 4-ого порядка с шагом по геоцентрическому углу, равному  $\Delta\theta$ . Поскольку  $\Delta\theta$  выбирается достаточно малым, то и  $\Delta l$ , соответствующий  $\Delta\theta$ , мал, поэтому

$$\int_{l(r_1)}^{l(r)} n_{\theta}(\theta(l), r(l)) dl = (n_{\theta}(\theta, r) + n_{\theta}(\theta_1, r_1)) \cdot \Delta l / 2, \text{ a } \Delta l = \sqrt{(r - r_1)^2 + r^2(\theta - \theta_1)^2}.$$

Окончательно получаем:

$$\frac{dr}{d\theta} = \frac{r\sqrt{n(\theta, r)^{2}r^{2} - (n_{1}r_{1}\cos\varphi_{1} + \frac{(n_{\theta}(\theta, r) + n_{\theta}(\theta_{1}, r_{1})) \cdot \sqrt{(r - r_{1})^{2} + r^{2}(\theta - \theta_{1})^{2}}}{2}}{n_{1}r_{1}\cos\varphi_{1} + \frac{(n_{\theta}(\theta, r) + n_{\theta}(\theta_{1}, r_{1})) \cdot \sqrt{(r - r_{1})^{2} + r^{2}(\theta - \theta_{1})^{2}}}{2}}{2}.$$

Первоначально под обозначениями с индексом "1" подразумеваются параметры точки входа в ионосферу, которые легко находятся. Далее методом Рунге-Кутта делается один шаг, после чего индекс "1" переходит к только что посчитанной точке,

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{dr}{r \cdot d\theta})^2}}$$
, и т.д

Ниже приведены результаты расчетов данной программы и результаты коррекции параметров модели IRI по данным ВНЗ. При осуществлении ВНЗ использовалась разнесенная схема ВНЗ (дальность разнесения ~ 300 км.). Излучатель и приемник располагались в Нижегородской области, азимут принятия - 281 гр. Дата проведения — 19.10.06. Результаты приведены для 7 ч. и 11 ч. по мировому времени. Программой моделировалась односкачковая схема ВНЗ, в качестве точки стояния станции ВНЗ бралась точка с координатами 55 гр. с.ш., 44 гр. в.д.

На рис. 2 и 3 изображены результаты модельного расчета зависимости дальности скачка по земле от угла места при односкачковом распространении (случаи с дальностью точки выхода из ионосферы (высота =< 80км.) >= 3800 км. не отображаются) для ряда частот. 12.0 МГц – red, 13.2 МГц – olive, 14.4 МГц – green, 15.6 МГц – blue, 16.8 МГц – navy, 18.0 МГц – purple, 19.2 МГЦ – light blue. По вертикали отложена дальность в км., по горизонтали – угол места в градусах. Время – 7 ч. (рис. 2) и 11 ч. (рис. 3).

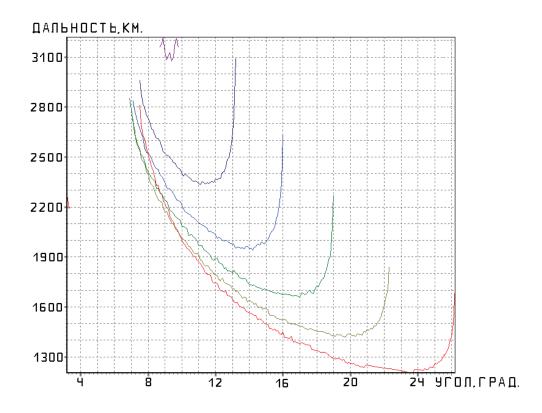


Рис. 2

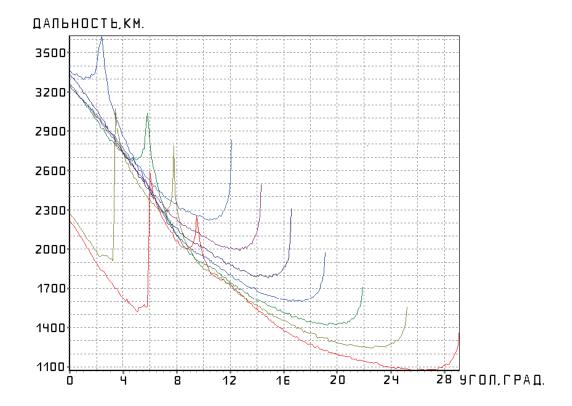


Рис. 3

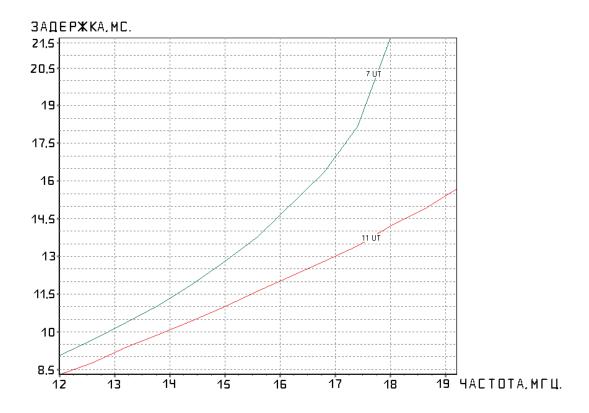


Рис. 4

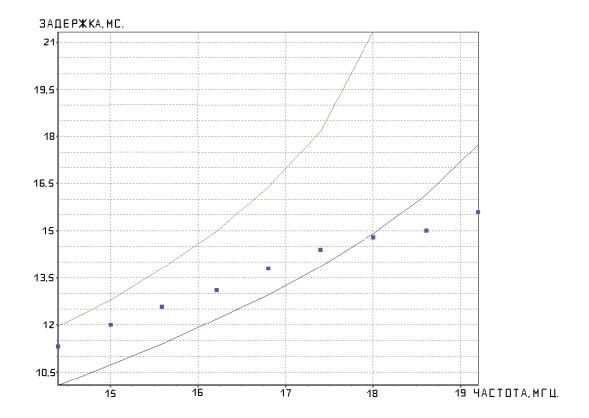


Рис. 5

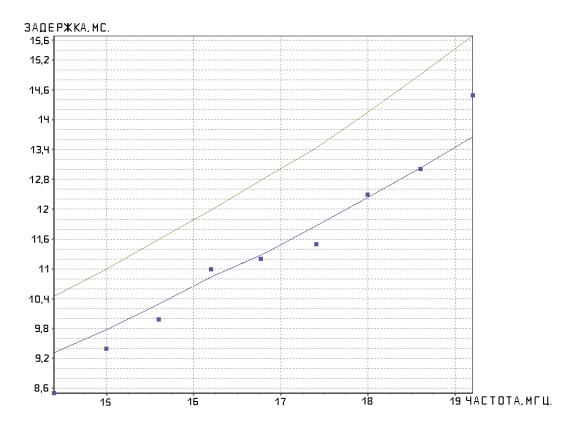


Рис. 6

На рис. 4 изображены зависимости минимальной временной задержки прихода сигнала от частоты (модельная ДЧХ). По вертикали отложена задержка прихода в мс., по горизонтали – частота в МГц.

На рис. 5 и 6 приведены результаты корректировки модели IRI по индексу IG12. По вертикали отложена задержка прихода в мс., по горизонтали — частота в МГц. Желтая кривая исходная модельная ДЧХ, фиолетовые точки — экспериментальная ДЧХ, синяя кривая — ДЧХ после корректировки по индексу IG12. Время — 7 ч. (рис. 5) и 11 ч. (рис. 6).

#### Выводы

- 1. Предложена методика расчета параметров распространения радиоволн в ионосфере и реализована программа расчета ДЧХ и др. параметров скачка.
- 2. Показана принципиальная возможность адаптации модели IRI 2001 на основе данных ВНЗ с помощью корректировки глобального ионосферного индекса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Данилкин Н.П., Н.Г. Котонаева, М.Р. Азизбаев. Региональная коррекция модели IRI по данным радиозондирования ионосферы с пилотируемой космической станции "МИР" Геомагнетизм и аэрономия, 2007, т. 47, №5.
- 2. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. –М.: Советское радио, 1962.

# ЗАВИСИМОСТЬ ЗАДЕРЖКИ КРУГОСВЕТНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ОТ ЧАСТОТЫ

#### Щелкалин А. В.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Фёдорова, г. Москва

Для моделирования зависимости от частоты задержки сигналов кругосветного эха используются представления о скользящих волновых пакетах на высоте максимума приведенной диэлектрической проницаемости области F2 ионосферы. Целью работы является получение оценки снизу задержек сигналов кругосветного эха с использованием аналитических моделей профиля электронной концентрации в виде элементарных функций от экспоненциальной функции высоты.

#### Канал скользящих волновых пакетов

Данные о дистанционно-частотных характеристиках (ДЧХ) кругосветных сигналов (КС) удобно представлять в виде обходного фактора  $\Phi$ , являющегося отношением группового пути  $D_{\rm rp}=c\, \tau$  (с- скорость света,  $\tau$  - задержка) для КС к длине трассы D, в случае КС равной  $D=2\pi a$ , где a - радиус Земли,

$$\Phi = \frac{\tau c}{2\pi a}$$

Ниже при моделировании рассматриваются экспериментальные данные о задержке KC — величине  $\tau$  из работ [1, 5, 6]. В задачи моделирования входит выбор простейших моделей профилей электронной концентрации  $n_e(h)$ , где h — высота над земной поверхностью, позволяющих вычислять соответствующие модельные интегралы задержек  $\tau_m(n_e(h),f)$  Эти величины служат основой для модельного расчета обходного фактора  $\Phi_M$ , который сопоставляется с экспериментальными значениями  $\Phi_3$ .

Моделированию ДЧХ сигналов кругосветного эха посвящено значительное число работ, из которых следует указать на монографию [4]. Авторы [4] использовали для моделирования представление об осциллирующей траектории скачкового типа. Существенной особенностью результатов такого моделирования применительно к рассматриваемым в [4] экспериментам являются соотношения

$$\Phi_m \gtrsim \Phi_{\Im},$$
  $\frac{\partial \Phi m}{\partial f} < 0$  при  $f < 19$  МГц.

В задачи данной работы входит построение модели, для которой  $\Phi_m \leq \Phi_{\mathfrak{I}}$  То есть речь идет о построении оценки снизу.

Представление о канале скользящих волновых пакетов как модели КС, рассматривалось, например, в работе [2]. Для этого использовалась приведенная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon$ , связанная с  $n_e(h)$  соотношением

$$\varepsilon = 1 + \frac{2h}{a} - \frac{f_c^2}{f^2} g(h) \tag{1}$$

где  $f_c$  — критическая частота области F2, f — рабочая частота, g(h) — функция относительной изменчивости профиля электронной концентрации  $n_e(h)$ . Предполагается, что профиль является унимодальной функцией с высотой максимума  $h_m$  и значением в максимуме  $n_m$ . Или  $g(h) = \frac{n_e(h)}{n_m}$  с очевидной нормировкой  $g(h_m)$ . = 1

С помощью (1) определяется высота канала  $h_k$  как корень уравнения для нахождения экстремума  $\left(\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial h}\right)_{h=h^2} = 0$ , при условии  $\left(\frac{\partial^2 \mathcal{E}}{\partial h^2}\right)_{h=h^2} < 0$ , когда экстремум является максимумом. Значение набега фазы при распространении КС вдоль оси канала определяется соотношением  $\varphi = k_0 2\pi a \sqrt{\varepsilon}$  и, соответственно,  $\tau_M = \frac{\partial \varphi}{\partial \omega}$ . Отсюда для области частот  $f^2 >> f_c^2 g(h_m)$  можно положить приближенно

$$\Phi_m \approx 1 + \frac{h_k}{a} + \frac{f_c^2}{2f^2} g(h_k)$$
 (2)

#### Выбор модельных профилей

В работе [2] соотношение (2) использовалось для моделирования ДЧХ КС при g(h) = E, где E - экспоненциальная функция, зависящая от параметра-шкалы H

$$E = e^{\frac{h - h_m}{H}}, \quad h < h_m \tag{3}$$

Такая модель, в принципе, позволила получить зависимость  $\Phi_m(f)$ , являющуюся оценкой снизу для  $\Phi_{\Im}(f)$ . Вместе с тем, у модели (3) имеются серьезные ограничения. Она неприменима для описания скачкового распространения радиоволн. Это связано с тем, что модель (3), являясь хорошей аппроксимацией g(h) в области  $h \approx h_k$ , неприменима в области  $h \gtrsim h_m$ . Для того, чтобы освободиться от этого ограничения, следует рассмотреть модель

$$g(h) = 2E - E^2 \tag{4}$$

применимость которой для геофизического и радиофизического моделирования была подробно обоснована в [3].Высота канала  $h_k$ , как корень уравнения  $\partial \varepsilon / \partial h = 0$  с использованием формулы (4), определяется как

$$h_k = h_m + H \ln(E_k) \tag{5}$$

Где

$$E_{k} = \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{2Hf^{2}}{h_{m}M\Pi Y^{2}}}}{2}, \qquad M\Pi Y^{2} = \frac{f_{c}^{2}a}{2h_{m}}$$
(6)

Формулы (2), (5) и (6) позволяют представить  $\Phi(f/M\Pi \Psi)$  в виде

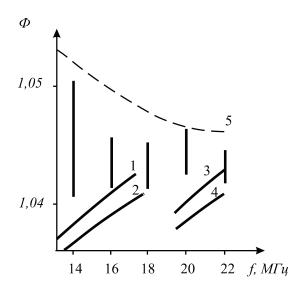
$$\Phi_{m}\left(\frac{f}{M\Pi Y}\right) = 1 + \frac{h_{k}}{a} + \frac{M\Pi Y^{2}h_{m}\left(2E_{k} - E_{k}^{2}\right)}{f^{2}a} \tag{7}$$

Соотношения (5) - (7) использовались для расчета  $\Phi_m$  при интерпретации экспериментальных данных работ [1, 5, 6].

### Интерпретация эксперимента

На рис.1 в координатах частота - обходной фактор представлены экспериментальные данные из работы [1] о величине  $\Phi_{\mathfrak{I}}$  в виде отрезков вертикальных линий на дискретных частотах. Трудность моделирования по этим данным состоит в дефиците информации, проявляющемся в неопределенности экспериментального значения МПЧ. Эта трудность носит общий характер. Для ее преодоления обычно используются данные об амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) - зависимости амплитуды КС от частоты A(f). Одно из возможных определений МПЧ - частотной границы между диапазоном проникновения радиоволн за горизонт за счет энергетически выгодного механизма наклонного отражения радиоволн от ионосферы и диапазоном проникновения за счет рассеяния радиоволн на неоднородностях электронной концентрации. В терминах АЧХ это означает наличие такой частоты, по отношению к которой справедливо неравенство А (МПЧ) >> А ( $f \ge M$ ПЧ). Построение теоретической модели АЧХ связано с непреодоленными до настоящего времени трудностями. Поэтому проводимое здесь моделирование с самого начала имеет ограничение в виде неединственности параметров модели. На рис. 1 кривые 1 и 2 относятся к ситуации, когда величине МПЧ придано значение 7,6 МГц, получаемое умножением максимально наблюдаемой частоты (МНЧ), равной 22 МГц, на 0,8.

Кривые 3 и 4 соответствуют равенству МПЧ = МНЧ. Были выбраны значения геометрических параметров профиля  $h_m = 350$  км, H = 70 км. Кривые 1 и 3 соответствуют экспоненциально — квадратичной модели — формула (4), кривые 2 и 4 - линейно-экспоненциальной модели - формула (3). Кривая 5 взята из работы [4] и соответствует модельному расчету с использованием скачкового механизма.



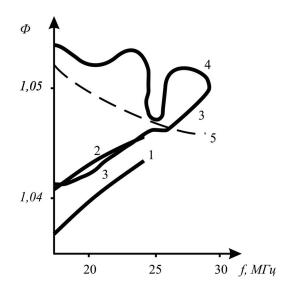


Рис. 1. Экспериментальная и модельные зависимости обходного фактора сигналов кругосветного эха от частоты

Рис. 2. Экспериментальная и модельные зависимости обходного фактора сигналов кругосветного эха от частоты

Данные, представленные на рис. 1, позволяют утверждать, что модель основанная на скользящем механизме, как с профилем (4), так и с профилем (3), обладает свойством оценки снизу в отличие от модели, основанной на скачковом механизме. При этом, также, соблюдается более соответствующее эксперименту для оценок снизу соотношение  $\partial \Phi / \partial f > 0$ , по крайней мере, для диапазона f < 0.8 МНЧ. Некоторая неопределенность моделирования в диапазоне 0,8МНЧ - МНЧ может быть связана с наличием нескольких азимутальных секторов распространения КС и устранение такой неопределенности - дело будущего. На рис. 2 в тех же координатах, что и на рис. 1, область экспериментального наблюдения  $\Phi_{\ni}$  ограничена снизу кривой 3 и сверху кривой 4. Эта область состоит из двух подобластей существующих в диапазонах  $f < 25 \,\mathrm{MFu}$  и  $25 \,\mathrm{MFu} < f < \mathrm{MHU}$ . Конфигурация областей допускает предположение о том, что только первой области соответствует механизм взаимодействия радиоволн с регулярной ионосферой. Можно предположить, что более высокочастотная область существования КС, примыкающих к МНЧ, обусловлена процессами рассеяния радиоволн на ионосферных неоднородностях. В соответствии с этим, кривая 1 построена для тех же значений  $h_m$  и H, что и кривая 1 на рис. 1. Однако, значение МПЧ для расчета кривой 1 на рис. 2 выбрано равным 23,2 МГц. Кривая 2 представляет собой результат расчета для параметров  $h_m$ =350 км, H = 40 км. Кривая 5 - та же самая, что и на рис. 1, но при МПЧ = МНЧ.

Данные, представленные на рис.2, подтверждают предпочтительность использования модели (4) по сравнению с моделью работы [4]. Что же касается модели (3), то очевидна возможность такого выбора параметров H и  $h_m$ , при котором расхождение между моделью и экспериментом при оценке снизу будет минимальна. Вместе с тем, как уже отмечалось, модель (4) предпочтительнее, поскольку она применима и для скачкового и для скользящего механизмов распространения радиоволн.

# Заключение

Проведенное сопоставление модельных расчетов и экспериментальных данных о зависимости задержек КС от частоты свидетельствует об определенном преимуществе модели, основанной на механизме скользящей волны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Гуревич А.В., Е.Е. Цедилина. Сверхдальние распространения коротких радиоволн. М.: Наука, 1979. 246 с.
- 2. Иванов-Холодный Г.С., Ю.К. Калинин. О геофизической инвариантности нижней части области F ионосферы. Геомагнетизм и аэрономия. Т.22, 1982, с.23.
- 3. Иванов-Холодный Г.С., Ю.К. Калинин, Г.И. Островский. Новая функция аппроксимации профиля электронной концентрации в окрестностях главного максимума среднеширотной ионосферы. Геомагнетизм и аэрономия. Т.32, 1992, с.108.
- 4. Рождественская Л.Л. Экспоненциально-параболическая аппроксимация профиля электронной концентрации в задачах радиозондирования ионосферы. Геомагнетизм и аэрономия. Т.30, 1990, с.287.
- 5. Barry G.H., R.B. Fenwick Oblique ionospheric radiowave propagation of frequencies near the lowest usable high frequency. AGARD Conf.Proc. N13. 1969. p.487.
- 6. Baster R.T., R.L. Showen Ducted propagation in the ionosphere for ICRM surveillance application. SRI Int. Tech. Rep. 48. 1979.

# ЧАСТЬ II. ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

# О НЕОБХОДИМОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛЕЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

# Агуренко А.О.

ГУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации— Мировой центр данных, г. Обнинск

# Развитие гидрометеорологического обеспечения (ГМО) в России

В процессе развития отечественного гидрометеорологического обеспечения (ГМО) отраслей экономики можно выделить три этапа [6].

Первый этап характеризуется экстенсивным развитием гидрометеорологической службы России, когда одной из основных задач было повышение успешности прогнозов и росту объема гидрометеорологической информационной продукции информационного наряду с расширением числа потребителей. Целевая задача службы в этот период обеспечение экономической полезности используемой гидрометеорологической продукции – рассматривалась как вторичная, хотя ее предпочтительность не исключалась. Более того, придавая большое значение метеорологическим прогнозам, М.А. Омшанский впервые предложил давать им экономическую оценку. Именно с этих публикаций были начаты научные исследования в области экономической полезности метеорологической информации. По инициативе академика Е.К. Федорова в 1966 г. в системе Гидрометеорологической службы были начаты широкомасштабные исследования экономической полезности метеорологических прогнозов. Во всех прогностических подразделениях проводились расчеты экономического эффекта использования прогнозов и другой метеорологической продукции отдельными потребителями. Эти расчеты показали, что за пятилетие (1966-70 гг.) экономия средств народного хозяйства СССР за счет использования всех видов метеорологической информационной продукции составила 3-4 млрд. руб. при затратах на функционирование службы 1,2 млрд. рублей. Тем самым, уже тогда начался переход к новому этапу ГМО потребителей.

**Второй этап** — начался в 80-х годах XX века и характеризуется переходом на интенсивный путь развития ГМО. Период, когда полезность прогнозов определялась успешностью, ее постоянным ростом, сменился новым, в котором оптимальное использование прогнозов достигается иным путем: на базе доступных и эффективных технологий (рис.1, [5]).

В это время стало проявляться качественно новое содержание реализации гидрометеорологических прогнозов. В системе Гидрометслужбы СССР (затем в Росгидромете), а также в ряде других ведомств, были развернуты широкие исследования по различным экономическим аспектам метеорологической практики.

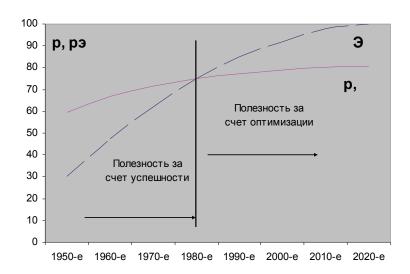


Рис 1. Схематическое представление условий обеспечения экономической полезности метеорологических прогнозов [3]

**Тремий эмап** (с середины 90-х годов XX века), который целесообразно рассматривать как развитие второго, характеризуется поиском новых форм взаимодействия с потребителями гидрометеорологической продукции в современных экономических условиях. В результате начался перевод ГМО отдельных отраслей экономики и предоставление некоторых видов гидрометеорологической продукции на частичное или полное финансирование за счет средств потребителей (или заказчиков) [3].

# Состояние гидрометеорологического обеспечения в России в настоящее время

В настоящее время России развиваются две ветви ГМО [3]:

- обеспечение гидрометеорологической информацией общего назначения, финансируемой бюджетом и предоставляемой безвозмездно;
- обеспечение специализированной гидрометеорологической продукцией, предоставляемой отдельным отраслям и конкретным пользователям на договорной основе за плату. При этом перечень информации общего назначения и условия доступа к этой информации определяются Правительством Российской Федерации.

Эффективность такого специализированного метеорологического обеспечения (СГМО) широкого круга потребителей возможна только в том случае, если достаточно полно изучена специфика работы потребителей, степень влияния на их хозяйственную деятельность тех или иных погодных условий и, в конечном счете, разработана совместно с потребителем метеоролого-экономическая модель оптимизации использования прогнозов погоды и осуществлены ее конкретные практические реализации. В свою очередь, потребитель как покупатель, по существу, начал приобретать не информационную продукцию как таковую, а те выгоды, которые она дает от ее использования в экономической и социальной сферах.

Два аспекта ГМО (ориентация на конкретного потребителя, с одной стороны, и на удовлетворение массового спроса, с другой стороны) приводят к необходимости более эффективного использования в общественном производстве гидрометеорологической информационной продукции как постоянно возобновляемых погодно-климатических информационных ресурсов. Именно на этой базе и формировались основные положения экономической метеорологии. Информация о фактическом и прогнозируемом состоянии окружающей природной среды позволяет при своевременном и грамотном ее использовании получить существенный экономический эффект.

# Основные методы оценки экономической эффективности от использования гидрометеорологической информации

В качестве основных показателей экономической эффективности использования гидрометеорологической информации и гидрометеорологического обеспечения в целом были выбраны: экономический эффект, экономическая эффективность и адаптивность потребителей к неблагоприятным гидрометеорологическим факторам.

Теоретическая база экономической метеорологии, позволяющая не только оптимизировать использование метеорологических прогнозов, но и оценить полезность этого метеоролого-экономического механизма, включает несколько основных положений [7].

Первое - представление прогностической информации в вероятностной форме, что возможно при матричном описании множества дискретных состояний погоды, выраженных в признаках «прогноз ( $\Pi$ ) - факт ( $\Phi$ )». Такая матрица является обобщенной формой представления реализаций прогноза погоды или метеорологической величины по соответствующим градациям (таблица 1). Иначе говоря, строится матрица сопряженности прогностических и фактических значений метеорологических величин, явлений или иной характеристики погоды [5].

Таблица 1 **Общий вид матрицы сопряженности** 

	Прогнозир	m=2		
Фактически наблюдалось, $\Phi_i$	<ul><li>П – наличие явления, неблагоприятного условия погоды</li></ul>	$\overline{\Pi}$ - отсутствие явления, неблагоприятного условия погоды	$\sum_{j=1}^{m-2} n_j$	
Φ	$n_{II}$	$n_{12}$	$n_{10}$	
$\overline{\Phi}$	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{20}$	
$\sum_{i=1}^{n-2} n_i$	$n_{01}$	$n_{02}$	N	

В таблице сопряженность прогноз-факт выражена числом случаев  $n_{ij}$ . Соответствующие сочетания характеризуют следующее:

 $n_{II}$  — число случаев оправдавшихся прогнозов наличия явления: явление (или состояние погоды) прогнозировалось и фактически наблюдалось;

 $n_{21}$  — число случаев неоправдавшихся прогнозов наличия явления: явление (или состояние погоды) прогнозировалось и фактически не наблюдалось;

 $n_{12}$  — число случаев неоправдавшихся прогнозов отсутствия явления: явление (или состояние погоды) не прогнозировалось и фактически наблюдалось;

 $n_{22}$  — число случаев оправдавшихся прогнозов отсутствия явления: явление (или состояние погоды) не прогнозировалось и фактически не наблюдалось;

Здесь  $n_{12}$  — ошибки первого рода — ошибки-пропуски;  $n_{21}$  — ошибки второго рода — ошибки-страховки;  $n_{01}$  — число случаев прогнозов наличия явления (или состояния погоды) — число прогнозов с текстом  $\Pi$ ;  $n_{02}$  — число случаев прогнозов отсутствия явления (или состояния погоды) — число прогнозов с текстом  $\overline{\Pi}$ ;  $n_{10}$  — число случаев прогнозов наличия явления (или состояния погоды) — столько раз фактически явление наблюдалось;  $n_{20}$  — число случаев отсутствия явления (или состояния погоды) — столько раз явление фактически не наблюдалось; N — общее число прогнозов (за месяц, сезон и т.п.) [7].

Так как элементами матрицы сопряженности являются совместные частоты  $n_{ij} = n(\Phi_i, \Pi_j)$ , то эти частоты можно перевести в необходимые для последующих экономических оценок совместные вероятности осуществления прогноза  $\Pi_i$  и факта  $\Phi_i$ .

Матрицы сопряженности метеорологических величин и явлений погоды ( $\Pi_i \sim \Phi_i$ ) представляют собой эффективный способ статистического описания как результатов прогнозирования, так и перспектив использования прогнозов.

Второе - построение функции, отражающей результативность действий потребителя, принимаемых им решений в зависимости от ориентации на ту или иную погоду и ее фактического осуществления.

В зависимости от ожидаемой погоды или климатических условий потребитель может принять одно их возможных производственных решений  $d_j$  в расчете на максимальную полезность следующих за ними хозяйственных действий. На основании сведений о множестве фактически осуществившихся метеорологических условий  $\Phi$  и множестве решений — действий потребителя d устанавливается  $\phi$  ункция полезности принимаемых решений. В общем виде она записывается так:  $\Theta_{ij} = \Theta(\Phi_i, d_j)$ , где  $\Phi_i(i=\overline{1,n})$  - фактическая погода с определенным значением метеорологических условий, осуществившаяся по истечении упреждающего действия потребителя;  $d_j(j=\overline{1,m})$  - погодо-хозяйственные решения и действия потребителя в расчете на ожидаемую погоду  $\Pi_i$ .

Для любого сочетания в наборе  $(d, \Phi)$  устанавливается некоторая полезность как результат учета получаемой информации о погодных и климатических условиях для данного потребителя. Функция полезности характеризует экономические последствия принимаемых потребителем хозяйственных (производственных) решений. Иначе говоря, функция полезности отражает те издержки или выгоды, которые несет или получает потребитель, ориентируясь на те или иные условия погоды.

Полезность в виде функции отражает лишь меру достижения хозяйственной или социальной цели, при этом цель может достигаться или через изменение прибыльности (прямых доходов), или через изменение убыточности (потерь), или иным путем. Общность формулы полезности не раскрывает пути достижения полезности, что связано с конкретными условиями реализации прогнозов и измерением последствий решений d. Отсюда функция полезности рассматривается как функция, характеризующая или приобретение полезности g, или потерю полезности g, или и то и другое вместе r = s - g.

В России для решения ряда метеоролого-экономических задач, таких как разработка погодо-хозяйственного регламента принятия решений, выбор оптимальных решений и стратегий, разработка ресурсоэнергосберегающих технологий, в основном используется функция потерь. Практически нет методик, использующих функцию дохода.

# Использование спутниковой информации и возможные пути оценки его экономической эффективности

Рассмотренный выше подход дает интегральную оценку экономической эффективности от применения всей гидрометеорологической прогностической информации к отдельным отраслям экономики. Вместе с тем представляет значительный интерес оценить удельный вес отдельных видов гидрометеорологической информации в суммарной экономической эффективности. Особенно это актуально по отношению к спутниковой информации, количество и качество которой постоянно повышается.

Практическое значение использования спутниковой информации связано с существенной экономией трудозатрат, материальных, финансовых и временных ресурсов. Таким образом, развитие работ в области изучения, мониторинга, прогнозирования погоды, климата, опасных и стихийных явлений, катастроф и чрезвычайных ситуаций, влияния деятельности человека на состояние окружающей среды, гидрометеорологических процессов, природных ресурсов суши и океана требует расширения использования космических методов и средств [4].

Экономический результат применения космической информации достигается за счет более оперативных и обоснованных хозяйственных решений, мероприятий и проявляется в приросте производства продукции, уменьшении ущерба от различных

явлений естественного и антропогенного характера, снижении стоимости производства, сокращении длительности производственных процессов, экономии хозяйственных ресурсов и т.д. Управленческие решения в области продовольственной политики, развития инфраструктуры городов, распоряжения водными, лесными ресурсами и другими ресурсами в значительной мере зависят от результатов мониторинга состояния окружающей среды. Получение глобальных оперативных данных возможно только с помощью измерительных средств космического базирования, поскольку наземная наблюдательная сеть охватывает не более 30% территории Земли. Спутниковые наблюдения охватывают практически все области гидрометеорологии и доступны в реальном времени, или времени, близком к реальному [1, 2]. Подробный перечень параметров окружающей среды, определяемых по спутниковым данным, приведен на сайте космической программы ВМО (http://www.wmo.int/pages/prog/sat).

Учитывая широкий спектр применения спутниковых данных и отсутствие разработанных методик для оценки экономического эффекта по отдельным видам гидрометеорологических данных, задача представляется достаточно сложной. Оценку экономической эффективности от применения спутниковой информации для прогнозов можно сделать, используя два подхода: 1) оценка "веса" (количества и качества) спутниковых наблюдений в общем количестве данных, используемых для прогноза по отдельным отраслям экономики – порты, сельское хозяйство, энергетический комплекс, и расчет экономической эффективности по уже разработанным методикам; 2) проведение серии контрольных экспериментов для отдельных видов прогнозов с учетом и без учета спутниковой информации. К настоящему времени достигнута предварительная договоренность о возможном сотрудничестве в этом направлении с Гидрометцентром Северо-Западного УГМС, г. Санкт-Петербург.

Спутниковый мониторинг имеет не меньшую, если не большую экономическую эффективность, чем применение спутниковых данных для прогноза. Но проведение количественных оценок здесь еще более затруднительно. Поэтому в качестве еще одного пути для оценки экономической эффективности от использования спутниковых данных предлагается проведение анкетного опроса. Для этого разработана специальная анкета, в которую включены различные аспекты, отражающие характеристики и назначение используемой спутниковой информации, и экспертную оценку эффективности от ее использования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Бресткин С. В., Ю. Д. Быченков, О. С. Девятаев, О.В. Фоломеев, С.В. Фролов Гидрометеорологическое обеспечение круглогодичного безледокольного плавания судов ОАО «ГМК «Норильский Никель» по маршруту Мурманск-Дудинка. 4-я Международная конференция «Земля из космоса—наиболее эффективные решения», 1-3 декабря 2009г. Москва, Ватутинки. Сборник тезисов докладов.
- 2. Колесов А.М. Опыт использования спутниковой информации для задач краткосрочного прогнозирования в практике ГУ «Санкт-Петербургский ЦГСМ-Р». 4-я Международная конференция «Земля из космоса наиболее эффективные решения», 1-3 декабря 2009г. Москва, Ватутинки. Сборник тезисов докладов.
- 3. Коршунов А.А., Л.А. Хандожко, М.З. Шаймарданов Некоторые аспекты экономической метеорологии. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2001. Вып.168.
- 4. Обработка и использование спутниковой информации при составлении гидрометеорологических прогнозов. <a href="http://ipk.meteorf.ru/">http://ipk.meteorf.ru/</a>
- 5. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. Гидрометеоиздат. 2005.
- 6. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология: наука, практика, эффективность. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2001. Вып.168.
- 7. Хандожко Л.А. Экономическая эффективность метеорологических прогнозов. Обнинск. 2008.

## ГРОЗОРЕГИСТРАЦИОННАЯ СИСТЕМА LS 8000

#### Аджиев Х. М.

ГУ Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик

Известны ряд методов регистрации грозовых явлений с использованием радиотехнических средств [1, 2]. За рубежом наибольшее распространение получило разностно – дальномерные пеленгационные системы [3, 4].

В августе 2008 г. впервые в России на Северном Кавказе была установлена и введена в эксплуатацию грозорегистрационная система LS 8000 фирмы «Vaisala», приобретенная Росгидрометом для ГУ «Высокогорный геофизический институт» (ГУ «ВГИ»). Система предназначена для регистрации и селекции молниевых разрядов разных типов: облакоземля, внутри- и межоблачных. Регистрация разрядов выполняется при помощи четырех дистанционных датчиков (грозопеленгаторов), которые принимают сигналы электромагнитного излучения молнии. На рис. 1 изображен внешний вид грозопеленгатора.



Рис. 1. Грозопеленгатор (общий вид).

Сеть дистанционных датчиков регистрирует молниевые разряды в низкочастотном (LF) и высокочастотном (VHF) диапазонах с помощью соответствующих антенн. Антенна, работающая в LF диапазоне, предназначена главным образом для обнаружения разрядов облако-земля, а также некоторых межоблачных разрядов. VHF антенна дает сведения лишь о межоблачных разрядах. Данные с каждого грозопеленгатора, при обнаружении молниевого разряда, поступают на центральный процессор (CP), расположенный в центральном пункте приема и обработки информации, который в итоге и определяет местоположение разряда. Чтобы убедиться, что набор данных относится к одному и тому же явлению, CP собирает данные о молнии от каждого датчика, сравнивает время, в которое явление было зафиксировано каждым из датчиков, затем математически вычисляяет точное местоположение молниевого явления, и отфильтровывает сигналы источников, отличных от молний.

Сеть грозопеленгации в VHF диапазоне обнаруживает излучаемые сигналы от облачных разрядов и определяет направление методом интерферометрии, в котором разности в углах сдвига фаз приходящего сигнала могут использоваться для определения направления на разряд. Ввиду взрывного характера излучения вспышки сеть грозопеленгации обрабатывает большое число элементарных событий и передает на центральный процессор, который в зависимости от комплектации системы может производить реконструкцию всей пространственной структуры вспышки.

Грозорегистрационная система LS 8000 позволяет получать следующие характеристики молниевых разрядов: дата и время разряда; координаты (широта и долгота

в системе WGS-84) и точность определения местоположения удара молнии; оценку максимального тока (кА); полярность (молнии, переносящие положительный заряд к земле приносят больше ущерба); максимальное значение скорости увеличения сигнала (крутизна тока молнии) и т.д.)

Для оптимизации точности измерения, азимут определяется точно во время, когда разряд достигает своего начального пика. В случае молний Облако-Земля обнаружение пика обычно происходит, когда ток удара молнии течет приблизительно в 100 м от земли и перемещается, в общем, вертикально. Время прихода разряда измеряется примерно в начале разряда с точностью приблизительно до 1 микросекунды по часам, синхронизированным через систему GPS посредством GPS-приемника каждого датчика.

Данные сети грозопеленгации могут в реальном масштабе времени передаваться потребителям. Связь грозопеленгаторов между собой и с Центральным процессором осуществляется с помощью системы спутниковой связи.

# Характеристики системы

Точность регистрации времени разряда: 100 наносекунд;

Точность определения местоположения разряда составляет от 600 м (при регистрации разряда всеми 4-мя грозопеленгаторами) в центре области расположения сенсоров. За пределами этой области точность уменьшается до 10 и более км;

Радиус действия (уверенного детектирования) каждого грозопеленгатора в LF диапазоне достигает 625 км;

Диапазон частот, выделенных для работы антенн грозопеленгаторов:

- VHF диапазон: 112 118 МГц (VHF антенны каждого из 4-х грозопеленгаторов настроены на разную частоту в указанном диапазоне);
  - LF диапазон: 1 350 КГц.

# Состав (основные компоненты) системы

Грозорегистрационная система LS 8000 фирмы «Vaisala» включает в себя:

- центральный процессор (СР);
- грозопеленгаторы (сенсоры) (рис. 1) 4 шт.;
- система спутниковой связи

## Дислокация грозорегистрационной системы

**Центральный процессор** - центральный пункт приема и обработки информации - это аппаратно-программный комплекс, состоящий из 6 компьютеров, программного обеспечения фирмы Vaisala и оборудования спутниковой связи с грозопеленгаторами LS8000. Расположен в г. Нальчик, ВГИ.

Грозопеленгаторы (сенсоры): - КБР, пос. Исламей, НИП «Кызбурун»

- КЧР, пос. Кавказский
- Ставропольский край, г. Ставрополь
- Ставропольский край, г. Зеленокумск

Схема расположения грозопеленгаторов и центрального пункта показана на рис. 2.

Общая область уверенного детектирования в LF-диапазоне составляет 625 км от каждого датчика. Зафиксированные значения точности определения местоположения ударов составляли от 300 м в центре до 50 км на периферии области детектирования. Для VHF диапазона общая область детектирования в два раза меньше, а минимальная зафиксированная точность составила 600 м.

# Оценка точности определения характеристик

Точность определения местоположения молниевого разряда зависит в первую очередь от местоположения разряда относительно сенсоров и количества сенсоров, участвующих в определении местоположения разряда.

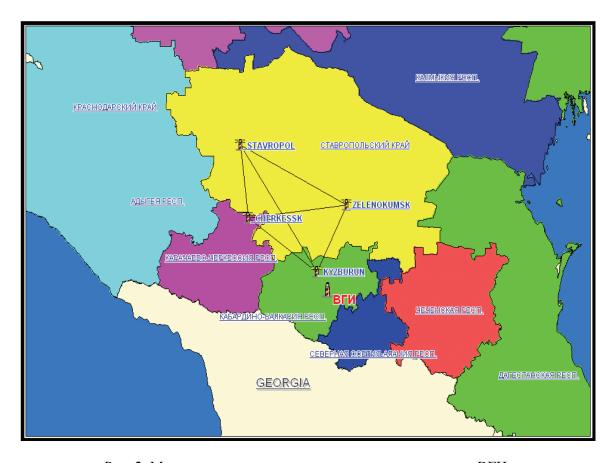


Рис. 2. Местоположение сенсоров и центрального пункта ВГИ

В таблицах 1 и 2 показана зависимость точности определения местоположения разрядов облако-земля (табл. 1) и внутри-облачных разрядов (табл. 2) от количества сенсоров, участвующих в определении местоположения. Используются данные за период с 09.08.2008 по 09.09.2008 г. В таблицах приводятся размеры эллипсов, в которые с 50%-ой вероятностью вписываются координаты разрядов.

Таблица 1

Кол-во	Кол-во	Сред. значение
сенсоров	разрядов	большой полуоси, км
2	80198	16,9
3	76278	12,2
4	14902	9,8

Таблица 2

Кол-во	Кол-во	Сред. значение
сенсоров	разрядов	большой полуоси, км
2	973581	7,8
3	227558	5,6
4	45761	4,2

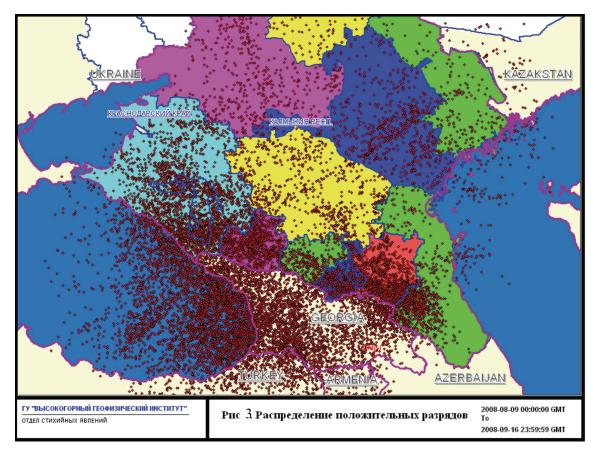
По предварительным результатам сравнительного анализа информации о грозовой активности на Северном Кавказе, получаемой с помощью грозорегистрационной системы, с данными метеостанций и метеорадиолокаторов МРЛ-5 получен вывод о достаточно высокой степени эффективности использования грозорегистратора LS 8000 для целей штормооповещения. Для более полной оценки эффективности грозорегистратора LS 8000 необходимы его дальнейшие испытания.

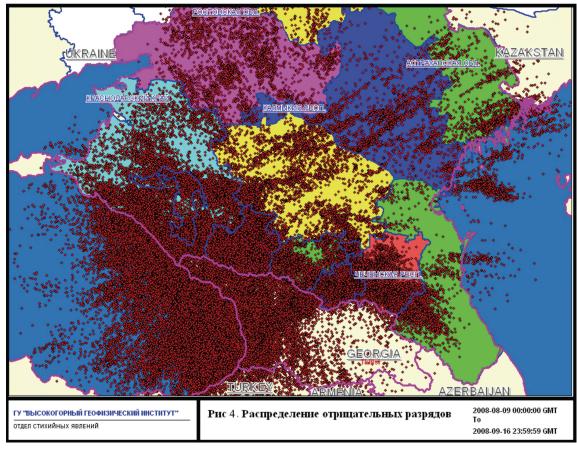
## Возможности использования и потенциальные потребители информации

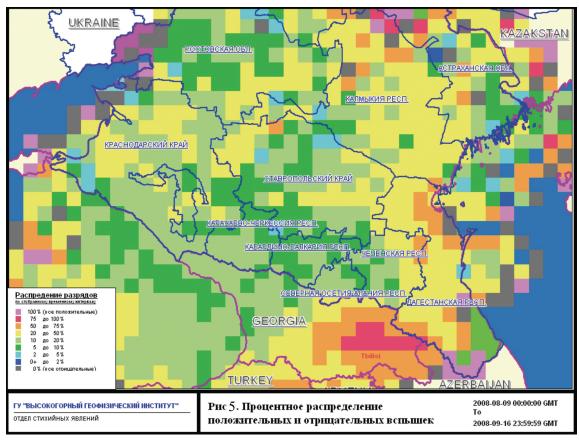
- -Оптимизация грозозащиты объектов различного назначения;
- Применение для нужд метеорологии:
  - получение информации для разработки методов статистического анализа данных и методик прогнозирования динамики молниевой активности;
  - развитие новых технологий штормового оповещения об опасных явлениях погоды с использованием грозопеленгаторов совместно с другими метеорологическими приборами и инструментами (доплеровские метеорадиолокаторы, МРЛ-5 и др.);
- Авиация: обеспечение безопасности полетов;
- Оценка физической эффективности активных воздействий на гидрометеорологические процессы;
- Электроэнергетика;
- Объекты и коммуникации топливно-энергетического комплекса;
- Телекоммуникации;
- Лесные службы;
- Оборона;
- Чрезвычайные ситуации, страховые компании и т.д.

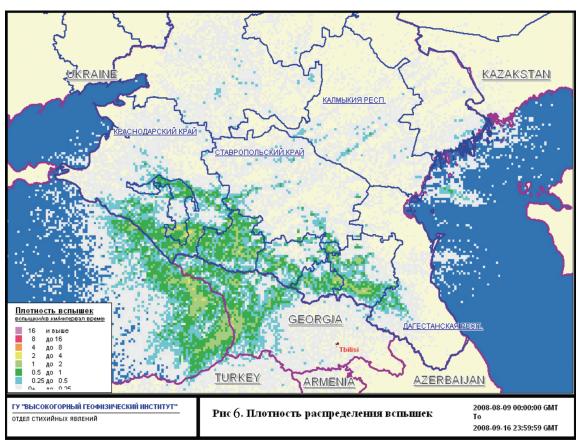
Данные, получаемые с помощью грозорегистрационной системы LS 8000, позволяют строить различные карты событий (плотности и процентного распределения положительных и отрицательных разрядов по территории, местоположение разрядов на местности, а также распределения плотности ударов и вспышек по всей детектируемой области), графики изменений различных параметров во времени, взаимных зависимостей. В частности на территории КБР за первый месяц работы было зафиксировано 4074 вспышки при средней плотности 0,3 вспышек на кв.км. При этом положительных разрядов – 9,5%, пиковое значение тока вспышки положительной полярности 130 кА, отрицательной – 160 кА. Примеры различных карт и графиков приведены на рис. 2 - 11.

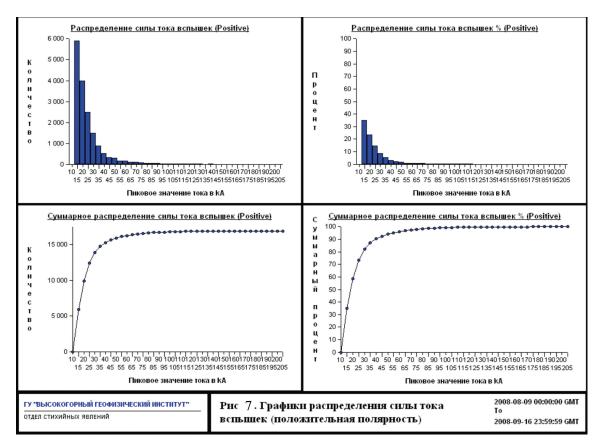
По предварительным результатам сравнительного анализа информации о грозовой активности на Северном Кавказе, получаемой с помощью грозорегистрационной системы, с данными метеостанций и метеорадиолокаторов МРЛ-5 получен вывод о достаточно высокой степени эффективности использования грозорегистратора LS 8000 для целей штормооповещения. Для более полной оценки эффективности грозорегистратора LS 8000 необходимы его дальнейшие испытания.

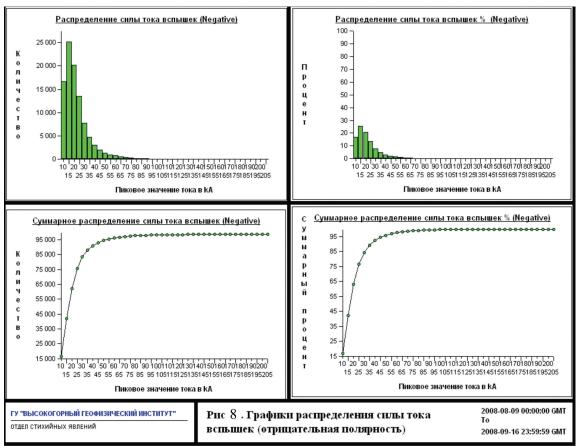


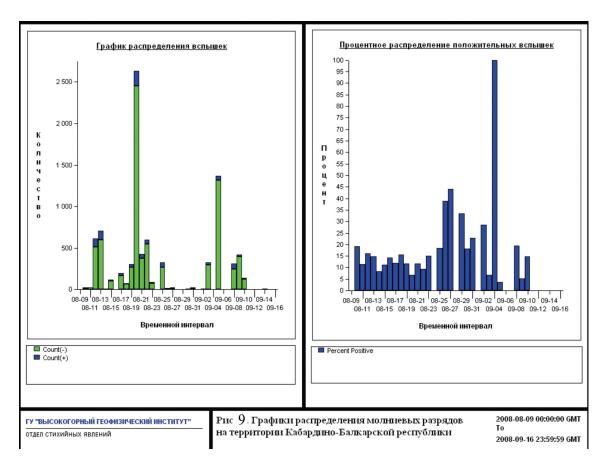












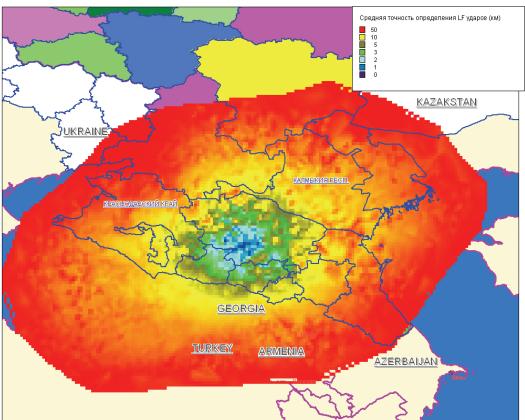


Рис. 10. Эффективность работы сенсоров в LF диапазоне в зависимости от расстояния.

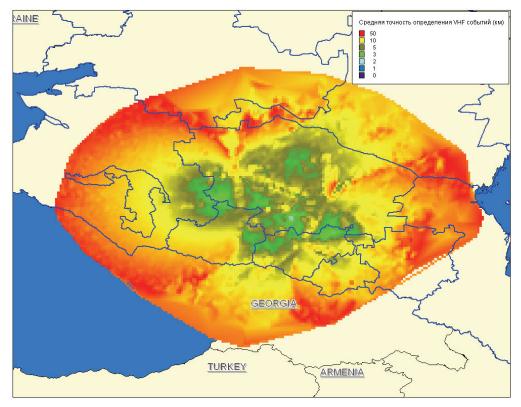


Рис. 11. Эффективность работы сенсоров в VHF диапазоне в зависимости от расстояния.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Коноков И.И., И.А. Петренко, В.С. Снегуров Радиотехнические методы местоопределение грозовых очагов. Санкт Петербург 1986г.
- 2. Аджиев А.Х., М.М. Акчурин, Е.М. Богаченко Определение местоположения молниевых разрядов в грозовых облаках с помощью ЕН грозопеленгатора дальномера и роль осадков в грозовой активности облака. В сб.: Атмосферное электричество. Труды II Всесоюзного симпозиума. Л., Гидрометеоиздат, 1984.
- 3. Петренко И.А., И.И. Коноков, С.М. Демыкин Разностно дальномерная система для определения координат молниевых разрядов. Труды ГГО, 1981, вып.442.
- 4. Rustan P.L., M.A. Uman, D.G. Childers, W.H. Beaseley, K.L. Lenon. Lighting source location from VHF radiation data for a flash at a Kennedy Space Centre.- J. Geophys. Res., 1980, v. 85, N C9, p. 4893-4903.

# ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ПОЛЕЙ ОСАДКОВ ПРИ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

# Алита С. Л., Суслов В. В.

ГУ Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик

Проблема восстановления зависимости с помощью аналитических функций по данным в экспериментальных точках имеет чрезвычайно важное значение для приложений. Восстановление полей осадков, необходимое для целей объективного анализа, наряду с традиционными трудностями решения проблемы имеет еще и специфические трудности. Они состоят, прежде всего, в том, что исходные данные, кроме того, что они

содержат ошибки измерений, испытывают на себе также влияние несущественных для целей последующей обработки информации возмущений, что затрудняет формулировку самих принципов аппроксимации и получения оценок качества аппроксимации. Другая особенность состоит в том, что схемы восстановления полей и их объективного анализа должны функционировать в оперативном режиме, поэтому соответствующие алгоритмы должны быть эффективными в смысле приемлемых затрат машинного времени и возможности обработки больших массивов исходной информации.

Характерной особенностью существующих в оперативной практике схем объективного анализа является то, что все они, как правило, используют локальные алгоритмы значением в скобках указана величина невязки этого значения с эталоном. В последних строках приведены средние значения невязок и относительные погрешности измерения. Восстановления значений полей в узлах регулярной сетки, т.е. для каждого участка географического пространства строится отдельная функция, представляющая зависимость величины поля от координат этой области [2, 3, 4]. Такой подход позволяет эффективно описывать метеорологические поля сложной конфигурации с помощью совокупности функций, имеющих простое аналитическое выражение. Однако выбор числа опорных (базовых) точек, по которым производится восстановление величины поля в соответствующих узлах регулярной сетки, или выбор области, включающей эти опорные точки, осуществляется на основе эвристических соображений и, как правило, не имеет достаточно убедительных обоснований. Кроме того, остается открытым вопрос о выборе вида функциональной зависимости величины поля в данной области географического пространства от координат этой области.

В метеорологии широкое применение получил метод интерполяции полей различных метеопараметров полиномами n — ной степени. Степень полинома выбираемого для интерполяции зависит от числа опорных точек (точек в которых задается значение метеопараметра) и возрастает с ростом их числа. Как отмечалось в работе [1], принципиальным недостатком метода полиномиальной аппроксимации является произвольность выбора полиномов, который производится вне связи со свойствами полей анализируемого метеорологического элемента.

В настоящей статье приводится пример интерполяции полей осадков, измеренных сетью плювиографов расположенных в городе Нальчике. Измерения осадков производились в 2006, 2007 и 2008 годах летом и ранней осенью. Схема размещения плювиографов приведена на рис. 1. На рисунке над каждым плювиографом указан район его размещения в городе. Плювиографы «Кенже», «Дубки» и «Хасанья» использовались в качестве базовых. По их показаниям рассчитывались значения слоя осадков в местах расположения контрольных плювиографов, роль которых выполняли плювиографы «Долинск» и «ВГИ». Затем, расчетные данные сравнивались с данными непосредственных измерений слоя осадков контрольными плювиографами. На схеме координаты точек расположения плювиографов заданы в километрах относительно начала координат расположенного на полигоне Высокогорного Геофизического института.

Для интерполяции полей осадков использовались полиномы вида:  $z = a_1 + a_2 x + a_3 y$ ,  $z = a_1 + a_2 x^2 + a_3 y^2$  и  $z = a_1 + a_2 x^3 + a_3 y^3$ . В таблице 1 приводятся результаты измерений. В таблице в столбце «Дата» указана дата выпадения осадков, в столбце «Место» указано место расположения контрольного плювиографа, в столбце «Эталон» указано значение осадков, измеренное этим контрольным плювиографом. Интерполированные значения осадков в месте расположения контрольного плювиографа указаны соответственно в 4, 5 и 6 – м столбцах в соответствии с использованными интерполирующими функциями. Рядом с каждым интерполированным значением в скобках указана величина невязки этого значения с эталоном. В последних строках приведены средние значения невязок и относительные погрешности измерения.

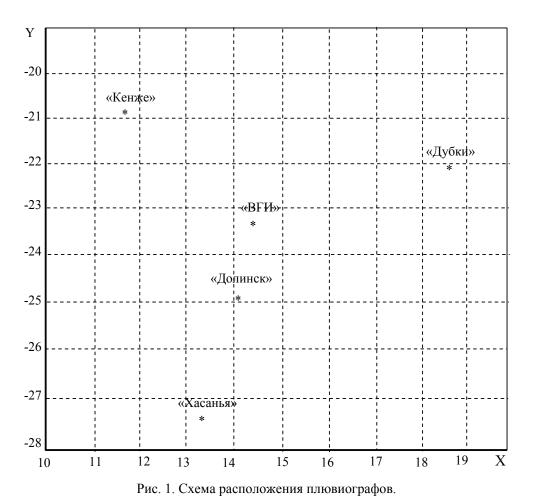


Таблица 1 **Эталонные и интерполированные значения количества осадков** 

Дата	Место	Эталон	Функция	Функция	Функция
		(мм)	$a_1 + a_2 x + a_3 y$	$a_1 + a_2 x^2 + a_3 y^2$	$a_1 + a_2 x^3 + a_3 y^3$
			(мм)	(мм)	(мм)
1	2	3	4	5	6
15.07.06	Долинск	9	11,5 (2,5)	11,5 (2,5)	11,6 (2,6)
15.07.07	Долинск	5,7	3,6 (2,1)	3,6 (2,1)	3,6 (2,1)
22.07.07	Долинск	1,4	2,1 (0,7)	2,1 (0,7)	2,1 (0,7)
1	2	3	4	5	6
22.07.07	ВГИ	4	2,7 (1,3)	2,7 (1,3)	2,8 (1,2)
23.07.07	Долинск	0,8	1 (0,2)	1 (0,2)	0,9 (0,1)
26.07.07	Долинск	17	16 (1)	15,4 (1,6)	14,7 (2,3)
08.08.07	ВГИ	4,2	4,9 (0,7)	4,8 (0,6)	4,6 (0,4)
22.08.07	ВГИ	5,2	4,9 (0,3)	4,9 (0,3)	4,9 (0,3)
17.06.08	ВГИ	13,6	18,1 (4,5)	17,8 (4,2)	17,1 (3,5)
18.06.08	Долинск	3,4	3,3 (0,1)	3,3 (0,1)	3,2 (0,2)
20.06.08	Долинск	1	1,8 (0,8)	1,8 (0,8)	1,8 (0,8)
21.06.08	Долинск	0,2	1,2 (1)	1,2 (1)	1,2 (1)

Дата	Место	Эталон	Функция	Функция	Функция
		(мм)	$a_1 + a_2 x + a_3 y$	$a_1 + a_2 x^2 + a_3 y^2$	$a_1 + a_2 x^3 + a_3 y^3$
			(MM)	(мм)	(мм)
1	2	3	4	5	6
22.06.08	ВГИ	14	4,1 (9,9)	4,2 (9,8)	4,4 (9,6)
23.06.08	ВГИ	17	16,7 (0,3)	16,9 (0,1)	17 (0)
27.07.08	ВГИ	15	13 (2)	13 (2)	13 (2)
27.07.08	Долинск	17	12,4 (4,6)	12,4 (4,6)	12,4 (4,6)
12.08.08	ВГИ	6,9	5,8 (1,1)	5,9 (1)	6 (0,9)
-	е значение зки (мм)	0	(1,82)	(1,81)	(1,81)
осадк	е значение ов (мм) и шность %	8 (MM)	22,75 %	22,63 %	22,63 %

#### Выводы

По результатам сопоставления экспериментальных и расчетов данных можно заключить, что ни одна из рассмотренных функций не имеет преимущества перед другими и возможно, что при различных обстоятельствах можно использовать каждую из них.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Белоусов С.Л., Л.С. Гандин, С.А. Машкович Обработка оперативной метеорологической информации с помощью электронных вычислительных машин, Л., Гидрометеоиздат, 1968, 282 с.
- 2. Быков В.В., Г.П. Курбаткин, И.В. Горелышева Опыт построения многоуровневой схемы численного анализа аэрологических данных. «Труды ММЦ», 1964, вып. 4, с. 57 72.
- 3. Гандин Л.С., Объективный анализ метеорологических полей. Л., Гидрометеоиздат, 1963, 287с.
- 4. Марчук Г.И. Численные методы в прогнозе погоды. Л., Гидрометеоиздат, 1967, 356 с.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СУММ ОСАДКОВ РАДИОЛОКЦИОННО-НАЗЕМНЫМ МЕТОДОМ НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ПОЛИГОНЕ ВГИ

## Алита С. Л., Суслов В. В.

ГУ Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик

На научно-исследовательском полигоне Высокогорного геофизического института проводились исследования осадков в 2007-2009 годах. Исследования проводились при помощи автоматизированного радиолокатора и наземной сети плювиографов.

Известно, что радиолокационные методы измерения параметров дождя обладают рядом преимуществ перед наземными методами: оперативностью и большей масштабностью измерений, возможностью накопления всей информации об осадках за любой период времени. Кроме того, накопленная и обработанная информация может быть быстро передана заинтересованному потребителю [2, 3]. Но существует ряд причин снижающих точность измерения осадков при помощи МРЛ.

Одной из таких причин является изменение коэффициентов A и  $\beta$  в зависимости от типа осадков, их интенсивности, региона наблюдений и т.д. [1, 5]. Для повышения

точности радиолокационных измерений осадков используются различные схемы, сочетающие радиолокатор и наземную осадкомерную сеть. Это позволяет производить калибровку локатора в реальном масштабе времени [4].

На рис. 1 показана сеть плювиографов в районе г. Нальчик, используемая для калибровки автоматизированного радиолокатора МРЛ-5.



Рис. 1. Сеть плювиографов, используемая для калибровки радиолокатора.

В результате исследований летом 2009 года было получено следующее: погрешности радиолокационного измерения осадков составляют 50-60 %. При использовании радиолокационно-наземного метода погрешность измерения осадков не превышает 30 %. В таблице 1 приводиться погрешности измерения осадков различными методами.

Таблица 1. Погрешности измерений радиолокационного и радиолокационно-наземного методов

Период наблюдений	Коэфф. корелл	Коэфф. корел. скор	Средняя погрешность	Средняя погрешность скор.
Июнь	0,990	0,912	52,50%	20,10%
Июль	0,52	0,80	52,12%	34,00%
Август	0,64	0,90	56,30%	31,74%
за 3 месяца	0,72	0,87	53,70%	28,60%

Но существует еще одна причина, снижающая точность измерения осадков радиолокатором. При наличии местных предметов на пути распространения радиолуча происходит его частичное или полное ослабление. В тоже время осадки необходимо измерять на высоте 1000-1500 метров над поверхностью земли для получения наиболее достоверных результатов. При измерении осадков на равнине или когда МРЛ находится на возвышении «местники» оказываются ниже этого уровня. Но при измерении осадков в условиях сложного горного рельефа приходится проводить измерения на большей высоте, с учетом того, что бы радиолуч не экранировался.

На рис 2 показан трехмерный рельеф местности, и отмечена область установки плювиографов (город Нальчик и его окрестности) и место установки МРЛ — научно-исследовательский полигон ВГИ «Кызбурун». Горы экранируют луч при угле места в 1 градус на 70 %. Но при угле места 2 градуса луч уже не экранируется.

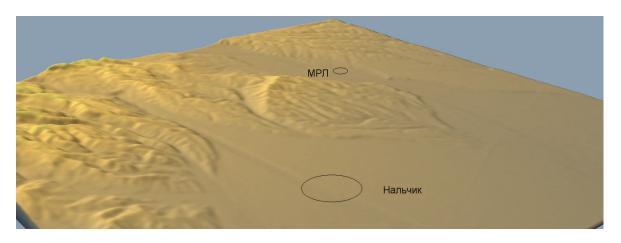


Рис 2. Трехмерная цифровая карта местности

На рис. 3 отображен профиль рельефа от точки расположения МРЛ до точки расположения одного из плювиографов. Из рисунка видно, что высота горы достигает уровня 810 метров, а следовательно луч распространяющийся под углом к горизонту менее 2,6 градуса будет экранирован. В случае же радиолокатора имеющего раскрыв диаграммы направленности 1,5 гр. необходимо увеличить минимальный угол места еще на 0,75 гр., для того, что бы луч не экранировался вовсе. Итого имеем оптимальный угол места 3,4 гр.

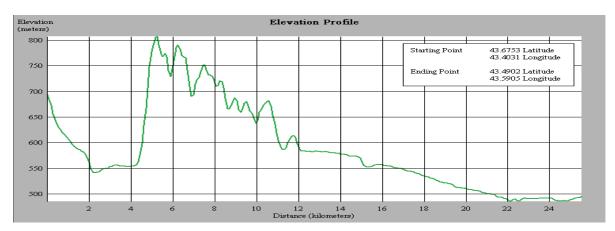


Рис 3. Профиль рельефа МРЛ – плювиограф.

Для автоматизации выбора оптимального угла места в зависимости от наличия или отсутствия «местников» на пути радиолуча, метода был разработан метод и специализированное программное обеспечение.

Для реализации данного метода применена 3-х мерная цифровая карта местности. Информация хранится в географических координатах с разрешением 3 арксекунды, что соответствует примерно 90 метров в горизонтальной плоскости. Для работы этот массив данных переводится в декартову систему координат, с привязкой к точке расположения МРЛ, а затем в полярные координаты с размерностью соответствующей размерности данных получаемых с МРЛ. В нашем случае используется размерность 256 индексов азимута на 250 индексов дальности. Шаг по азимуту 1,4 градуса, по дальности 0,5 км. Данный массив сохраняется отдельным файлом.

Алгоритм расчета интенсивности и сумм осадков представлен на рис. 4. В внешнем цикле происходит перебор всех индексов азимута, а во внутреннем происходит перебор всех индексов дальности.

При начале нового цикла по индексам дальности происходит обнуление переменной индекса угла места. Для каждой ячейки массива происходит расчет высоты для данного угла места на данном удалении от локатора. Вычисленная высота сравнивается с высотой хранящейся в массиве цифровой карты высот, если высота ниже, то увеличиваем переменную индекса угла места и сравниваем высоты заново.

В таблице проведено сопоставление радиолокационных и наземных данных за дождь 18 июня. Видно, что наименьшая погрешность соответствует наименьшему неэкранированному углу места.

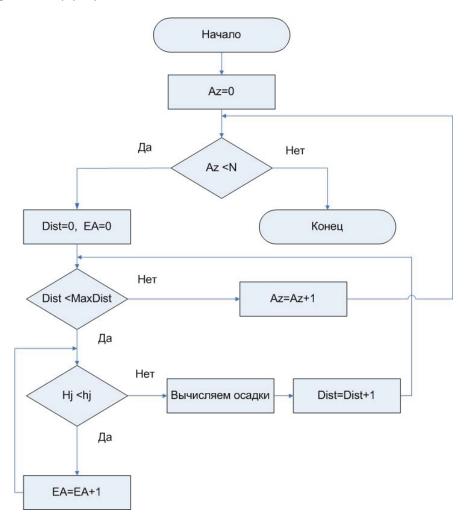


Рис 4. Алгоритм измерения дождей в условиях сложного рельефа

Таблица 2 Погрешности измерения дождя радиолокатором на различных углах места в сравнении с данными плювиографа. Дождь в г. Нальчик 18 июня 2009 года.

Пункт наблюдения	Показания плювиогр.	Угол №1	Погрешность	Угол №2	Погрешность	Угол №3	Погрешность
Центр города 1	65	24	63,08%	71,4	9,85%	69,7	7,23%
Долинск	30,8	5,2	83,12%	33,9	10,06%	39,7	28,90%
Дубки	63	3,1	95,08%	63,9	1,43%	66,9	6,19%
Центр города 2	54	28,5	47,22%	61,0	12,96%	64,4	19,26%

Пункт наблюдения	Показания плювиогр.	Угол №1	Погрешность	Угол №2	Погрешность	Угол №3	Погрешность
ВГИ	52	13,7	73,65%	61,8	18,85%	68,8	32,31%
Хасанья	48	11,7	75,63%	50,5	5,21%	56,1	16,88%
Кенже	22,6	6,7	70,35%	37,8	67,26%	47,6	110,62%
Средня	я погрешност	Ь	72,59%		17,94%		31,63%

На рис. 5-6 показано поле сумм осадков полученных на 1 и 2 градусе угла места. Хорошо заметно сильное уменьшение количества осадков при проведении измерений на угле места №1 по сравнению с количеством осадков полученных при измерении на угле места №2.

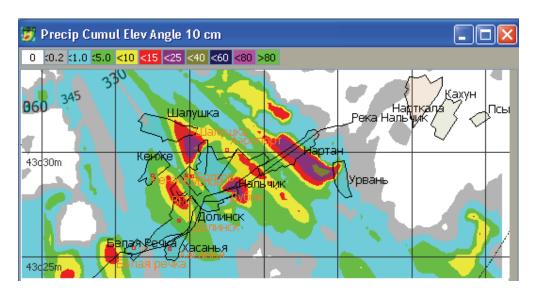


Рис 5. Поле суммарных осадков полученных на угле места №1

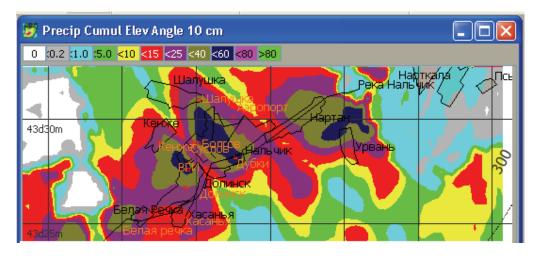


Рис. 6. Поле суммарных осадков полученных на угле места №2

### Выводы

Был разработан метод, позволяющий увеличить точность измерения осадков при помощи МРЛ в сложных условиях рельефа местности. По данным измерений летом 2009 года показано что погрешность метода не превышает 30 %.

Для реализации метода был создан алгоритм позволяющий автоматизировать процесс измерения осадков. Данный алгоритм был реализован в виде программного обеспечения.

Разработанный метод вместе с другими схемами уменьшения погрешности позволяет успешно использовать автоматизированный радиолокатор для измерения осадков.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Довиак Р., Д. Зрнич Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 511с.
- 2. Инюхин В.С., А.В. Капитанников, С.А. Аксенов, К.Б. Лиев Использование радиолокационных данных о поле осадков для оперативного прогноза дождевых паводков. Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. СПб.: Гидрометеоиздат, 2006. С 189-202.
- 3. Инюхин В.С. Радиолокационные характеристики дождя. Тр. ВГИ. 2006. Вып. 94. С. 54-60.
- 4. Инюхин В.С. Автоматизированные радиолокационные измерения дождей. Труды Всероссийской конференции по селям: 26-28 октября 2005 г.–М.: Издательство ЛКИ, 2008. С. 302-310.
- 5. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1966 240 с.

## РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ АЭРОЗОЛЬНЫЕ СЛОИ

### Андреев Ю. В., Ераньков В. Г.

ГУ Научно-производственное объединение «Тайфун», г. Обнинск

### Введение

В связи с отчётливо проявляющейся в последние годы тенденцией к потеплению климата мировое сообщество озабочено поиском возможных мер по его стабилизации. Ещё в 70-е гг. прошлого века М.И. Будыко [1] была выдвинута идея управления климатом путём введения в нижнюю стратосферу аэрозольных слоёв, которые бы ослабляли часть падающего на поверхность Земли солнечного излучения. По оценкам ослабление солнечной радиации на ~1% может понизить среднюю температуру над поверхностью Земли на величину примерно от 0,6 до 1°С, что достаточно для сохранения современного климата. В настоящее время в Институте глобального климата и экологии под руководством академика Ю.А. Израэля в сотрудничестве с Научно-производственным объединением «Тайфун» и другими организациями и учреждениями Российской Федерации ведутся теоретические и экспериментальные исследования по оценке эффективности метода компенсации потепления с помощью искусственных аэрозольных образований, создаваемых в нижней стратосфере [2-4].

В рамках этих исследований проводятся лабораторные и ограниченные натурные эксперименты по исследованию ослабления солнечной радиации искусственными аэрозольными слоями с известными оптическими и микрофизическими параметрами, близкими к стратосферному аэрозолю. На основе результатов исследований в имитационных камерах были выработаны предложения по организации ограниченных натурных экспериментов. На первом этапе [3] была разработана методика проведения ограниченного натурного эксперимента и испытана измерительная аппаратура для контроля оптических и микрофизических характеристик аэрозольных образований в

приземном слое атмосферы. Целью второго этапа натурных экспериментов (2009 год) являлась отработка методики измерения оптических и микрофизических параметров аэрозольных образований в средней тропосфере с использованием аппаратуры наземного и авиационного базирования на линейных масштабах около 20 км и площадях порядка сотен квадратных километров [4].

## Измерительная аппаратура и методика проведения натурного эксперимента

Измерения оптических параметров аэрозольных образований в средней тропосфере производились с использованием фотометрической (фотометры, актинометры, лидар) и аэрозольной аппаратуры наземного и авиационного базирования. В наземный измерительный комплекс входили 8 солнечных фотометров, 6 актинометрических измерительных модулей, лидар. В авиационный комплекс, установленный на вертолете-зондировщике, входили лидар, фото- и видеорегистраторы. Фотометры разработаны в НПО "Тайфун" на базе наземных автоматических уфиметров и предназначены для измерения интенсивности прямого излучения Солнца на длине волны 0,53 мкм с регистрацией данных на персональном компьютере [6]. Актинометрические измерительные модули (разработка Центральной аэрологической обсерватории) измеряли полную (суммарную в верхней полусфере) энергетическую освещенность солнца в диапазоне от 0,01 до 1,6 кВт/м² и в диапазоне длин волн от 0,3 до 2,4 мкм. Параметры микроструктуры аэрозолей измерялись с помощью фотоэлектрического счетчика (ФЭС) «Дельта» [5]. На рис. 1 представлена обобщённая схема натурного эксперимента.

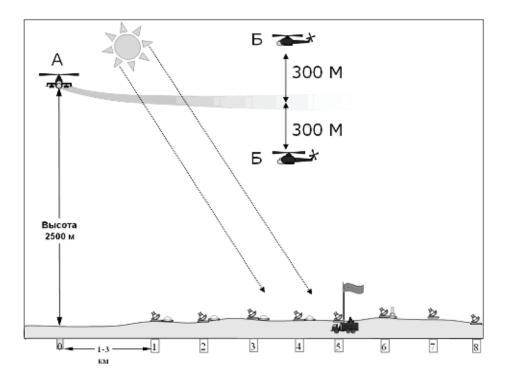


Рис. 1. Обобщенная схема проведения натурного эксперимента. A – вертолёт-генератор аэрозольных слоёв; B – вертолёт-измеритель оптической толщи аэрозольного слоя.

Вертолёт-генератор на высоте 2,5 км и на расстоянии 1-3 км от первого измерительного пункта (ИП) выполнял галсы во встречных направлениях, перпендикулярно направлению ветра. Аэрозоль распылялся в атмосфере в виде полос, следующих параллельно друг другу (рис.2).



Рис. 2. Генерация аэрозольных слоев

Фотометры и актинометрические измерительные модули располагались с подветренной стороны в измерительных пунктах, расположенных на расстоянии от 1 до 4 км друг от друга. Геометрия эксперимента рассчитывалась по разработанной авторами расчетной модели постановки натурного эксперимента. Приоритетными для построения расчетной модели являлись следующие факторы:

- линия визирования солнца измерительными приборами должна проходить сквозь толщу аэрозольных образований на всех ИП;
- линейный масштаб эксперимента должен быть по возможности максимальным;
- ИП должны располагаться в доступных для транспортировки оборудования точках.

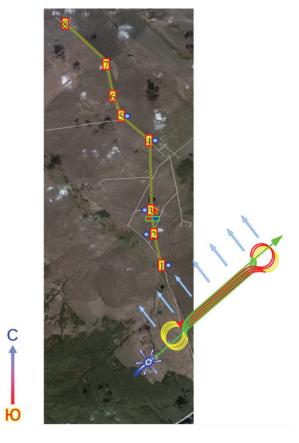


Рис. 3. Схема натурного эксперимента

До начала проведения работ производилось изучение эксперипредмет ментальной площадки на наличия подъездных дорог, полученные данные были внесены в модель. Для различных направлений ветра подготовлены шаблоны расположения восьми ИП и вертолёта-генератора аэрозоля. Каждое утро в день проведения эксперимента cпомощью расчетной модели, учитывая прогностические метеорологические данные, выбиралась оптимальная схема (на рис. 3 приведена одна из рабочих схем). Затем производилось развертывание измерительной аппаратуры на всех ИП. Непосредственно перед началом генерации аэрозольных слоёв уточнялись метеопараметры на высоте постановки аэрозольного образования (2500 м) с помощью авиационных средств, проводилась коррекция работы вертолёта-генератора (координаты, скорость полета, расстояние между галсами и др.). В течение одной серии экспериментов создавалось от 13 до 15 аэрозольных слоев на протяжении сорока

минут. После прекращения генерации аэрозоля данные продолжали регистрироваться на всех ИП до того момента, когда последний аэрозольный слой проходил через восьмой ИП.

### Калибровка фотометрической измерительной аппаратуры

Натурные эксперименты предваряла калибровка солнечных фотометров и лидаров по исследуемому аэрозолю. Для этого в аэрозольной камере длиной 40 м (рис. 4) со специальными окнами в торцах генерировался модельный аэрозоль, массовая концентрация которого контролировалась взвешиванием проб, отобранных на фильтры АФА, и расчетным путем по измеренной микроструктуре аэрозоля.

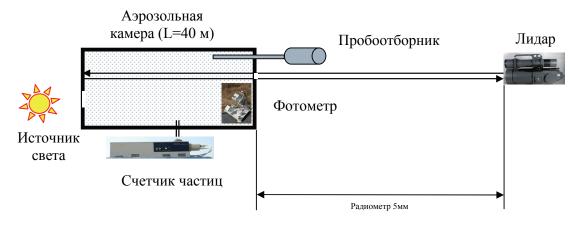


Рис. 4. Схема проведения калибровки солнечных фотометров и лидаров по исследуемому аэрозолю.

Средний диаметр генерируемых аэрозольных частиц, полученный по данным  $\Phi$ ЭС, составил около 0,5 мкм. Отбор проб на фильтры АФА для последующего взвешивания возможно проводить с периодом накопления не меньшим 10 минут, в то время как достаточный период накопления данных  $\Phi$ ЭС – 30 секунд. Из счетной концентрации N, измеряемой  $\Phi$ ЭС, массовую концентрацию можно оценить по формуле (1)

$$\frac{1}{6}\pi D_3^3 N \rho = M, \tag{1}$$

где M — массовая концентрация аэрозоля;  $D_3$  — средний кубичный диаметр; N — счетная концентрация аэрозоля;  $\rho$  — плотность вещества аэрозольных частиц. Значения массовой концентрации, измеренной на фильтрах  $A\Phi A$ , удовлетворительно согласуются со значениями массовой концентрации, полученными расчетным путем по данным  $\Phi \Theta C$ . Далее получаем расчетное значение интенсивности света I (рис. 5), прошедшего через слой аэрозоля толщиной L, по следующей формуле:

$$I = I_0 \exp \left[ -\frac{1}{6} \pi D_3^3 N \rho \sigma_a L \right], \tag{2}$$

где  $I_0$  — интенсивность падающего света;  $\sigma_a$  — массовое сечение ослабления аэрозолем (3,3 м<sup>2</sup>/г).

Используя соотношения (1,2), было получено калибровочное соотношение между осажденной плотностью модельного аэрозоля  $(M \cdot L)$  и пропусканием солнечного излучения (рис. 6), благодаря которому с помощью солнечного фотометра можно проводить качественную оценку значения осажденной плотности аэрозольных слоев в средней тропосфере и в дальнейшем в стратосфере.

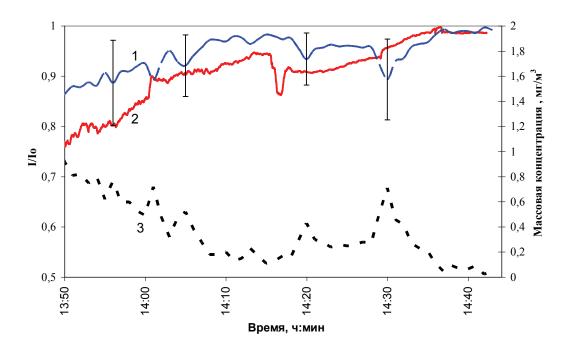


Рис. 5. Сравнение пропускания солнечного излучения, измеренного фотометром (2) и рассчитанного (1) через массовую концентрацию(3), измеренную  $\Phi \Theta C$ . I и  $I_0$  — Интенсивность падающего света при наличии и отсутствии аэрозольного слоя соответственно.

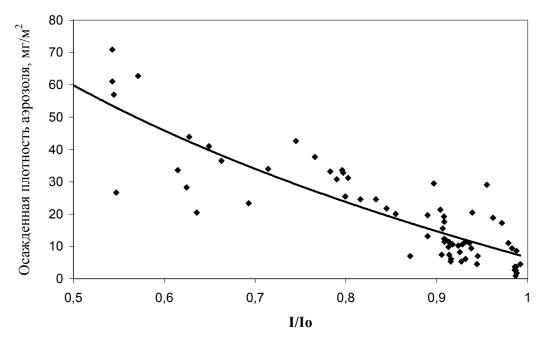


Рис. 6. Зависимость осажденной плотности модельного аэрозоля от пропускания солнечного излучения.

# Результаты

В общей сложности в трех сериях экспериментов с использованием разработанной авторами расчетной модели были созданы 39 аэрозольных слоев. Каждый аэрозольный слой последовательно проходил через пункты измерения. На рис. 7 приведен график ослабления прямого солнечного излучения на каждом ИП, измеренного с помощью фото-

метров. Пиковое ослабление излучения на последних четырех измерительных пунктах в этих измерениях, как правило, меняется от 2 до 1% по мере диффузионного размывания струи. На рис. 8 представлена зависимость осажденной плотности аэрозоля от удаления от источника.

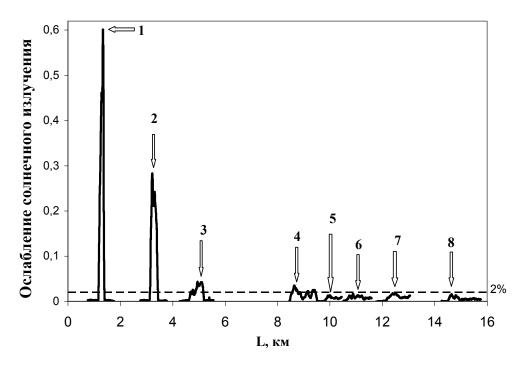


Рис. 7. Ослабление прямого солнечного излучения при прохождении искусственного аэрозольного облака над измерительными пунктами 1–8 – (указаны стрелками).

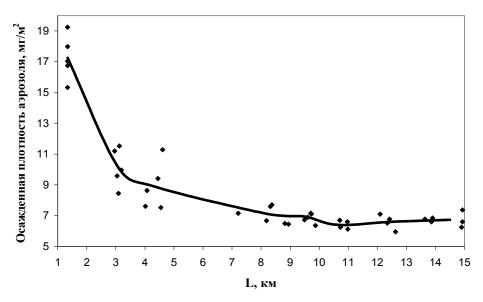


Рис. 8. Зависимость осажденной плотности аэрозоля от удаления от источника. Сплошная линия представляет собой результат осреднения по 5 экспериментам.

### Заключение

Разработана и реализована в ходе натурного эксперимента методика исследования прохождения солнечного излучения через аэрозольные слои площадью порядка 100 км<sup>2</sup>, создаваемые в средней тропосфере. Измерены оптические и оценены микрофизические

параметры аэрозольных образований и степень ослабления солнечного излучения (1-2 % при плотности аэрозоля в осажденном слое порядка 10 мг/м²) искусственным аэрозолем с использованием аппаратуры наземного и авиационного базирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Будыко М.И. Изменение климата. Л., Гидрометеоиздат, 1974, 280 с.
- 2. Израэль Ю. А. Эффективный путь сохранения климата на современном уровне основная цель решения климатической проблемы. Метеорология и гидрология, 2005, №10, с. 5-9.
- 3. Израэль Ю.А., Захаров В.М., Петров Н.Н., Рябошапко А.Г., Иванов В.Н., Савченко А.В., Андреев Ю.В., Пузов Ю.А., Данилян Б.Г., Куляпин В.П.. Натурный эксперимент по исследованию прохождения солнечного излучения через аэрозольные слои. Метеорология и гидрология, 2009, №5, с. 5-15.
- 4. Израэль Ю.А., Захаров В.М., Петров Н.Н., Рябошапко А.Г., Иванов В.Н., Савченко А.В., Андреев Ю.В., Ераньков В.Г., Пузов Ю.А., Данилян Б.Г., Куляпин В.П., Гулевский В.А.. Натурные исследования геоинженерного метода сохранения современного климата с использованием аэрозольных частиц. Метеорология и гидрология, 2009, №10, с. 5-10.
- 5. Коломиец С.М, Мишуненков Н.И., Смирнов В.В. Лазерный анализатор аэрозолей "Дельта" для контроля чистоты воздуха // Опт. Мех. Промышл. 1989. №12. С. 21-24.
- 6. Тереб Н.В., Никифорова Н.К. Высокочастотные колебания общего содержания озона. Метеорология и гидрология, 1991, №1, с. 108-110.

## МАКРОФИТЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

### Балоян С. Б.

ГУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, г. Москва

В группу тяжелых металлов обычно включают химические элементы с плотностью больше пяти. Для макрофитов список тяжелых металлов состоит из типичных микроэлементов (кобальт, медь, цинк, молибден, хром, марганец, никель) а также металлы биологическая роль которых в гидробионтах до конца не установлена (кадмий, свинец, серебро,мышьяк, ртуть.

Особенность тяжелых металлов как загрязнителей состоит в том, что для них отсутствует биодеградация - они лишь перемещаются из одного природного резервуара в другой, взаимодействуя с живыми организмами и оставляя следы этого взаимодействия. Обладая этой особенностью, они способны, переходя от одного звена трофической цепи к другому, постепенно концентрироваться в пищевых цепях. Поэтому отрицательное воздействие тяжелых металлов на состояние окружающей среды и особенно водной среды является особенно острым и диктует необходимость всесторонних исследований.

Высокая поглотительная способность водных растений делает их идеальными тестовыми объектами для количественного и качественного определения антропогенных химических нагрузок на водоем, происходящих во время всего вегетационного цикла.

Способность высших водных растений накапливать вещества в концентрациях, превышающих фоновые значения, зафиксированные в окружающей среде, обусловила их использование в системе мониторинга и контроля состояния окружающей среды [7, 9, 10, 11].

При одинаковых условиях водной среды степень накопления тяжелых металлов макрофитами имеет определенную закономерность. Так, для макрофитов реки Москвы установлен следующий ряд накопления тяжелых металлов [11]:

Mn >Fe> Zn> Mo> Cu> Pb> Co> Cr> Ni> Cd.

Для макрофитов Волгоградского водохранилища степень накопления разных металлов имеет несколько другой вид:

Fe > Mn > Cu > Zn > Cr > Ni > Co > Pb.

Для морских макрофитов (крупных талломных водорослей) ряд накопления тяжелых металлов имеет вид [5]:

Fe> Zn> Mn> Cu> Ni> Cr> Cd.

Имеются и другие ряды степени накопления тяжелых металлов макрофитами. Однако, наблюдаемые некоторые различия в целом позволяют выделить определенную закономерность. Как правило, наиболее интенсивно макрофиты накапливают Fe, Mn, Cu, Cr, Zn, в меньшей степени Co,Pb,Cd.

Наблюдаемые ряды накопления тяжелых металлов связаны с коэффициентами их биологического накопления макрофитами [4]. При этом необходимо учитывать также возможные максимальные накопления тяжелых металлов макрофитами, обитающими в определенных биогидрохимических провинциях, где отмечаются повышенные содержания того или иного элемента, а также при интенсивном поступлении металлов в воду с антропогенными сбросами. Пределы возможных накоплений тяжелых металлов в водных экосистемах представлены в таблице 1. Поэтому при сопоставлении количества металлов, аккумулированных в макрофитах, необходимо учитывать эту особенность.

Таблица 1 Пределы содержание химических элементов в пресноводных экосистемах [8]

Химический	вода	Донные отложения	макрофиты
элемент	мкг/л	мг/кг сух.массы	мг/кг сух.массы
Хром	0,10-500	5-1700	0,10-2000
Марганец	0,4 - 1700	100 - 30000	3,5 - 30000
Железо	3,0 - 1560	810 - 68000	10,4 - 50000
Кобальт	0,006-20	1,3 - 40	0,10-30
Никель	0,8-135	7,6 - 1500	0.8 - 140
Цинк	0,002-4800	4,0-24000	3,1-6000
Медь	0,002 - 4800	4,0-1000	2,8 - 1000
Кадмий	0,00007-43,0	0,04 - 18000	0,01 - 400
Свинец	0.02 - 5000	0,4 - 5000	0,1 - 5000

Для использования макрофитов в качестве биоиндикаторов приняты концентрации тяжелых металлов в гидробионтах, условно принимаемых за фоновые. Безусловно, эти величины будут различаться в разных условиях водной среды. Однако для оценки уровня тяжелых металлов, поступающих в водные объекты и степень их накопления в макрофитах должна сопоставляться с фоновыми величинами. Обычно за фоновые величины выбирают концентрации тяжелых металлов в макрофитах, произрастающих в чистых водоемах и водотоках. Для совершенствования мониторинга конечно необходимы разработанные нормативные показатели, однако это требует более детальных исследований.

Таблица 2 Уровни содержания тяжелых металлов в пресноводных организмах, условно принимаемых за фоновые [9]

Элемент	Mn	Fe	Ni	Zn	Cr	Cu	Sr	Cd	Hg	Pb
Содержание мг/кг сух.веса	10,4-120	2000	1,5-24	80-23	2,3-5,4	2,5-60	5-10	0,1-0,5	0,04-0,3	0,3-1,8

Другим важным аспектом является видовая специфичность макрофитов в накоплении тяжелых металлов [1, 2, 8, 9, 11]. Три основные экологические группы макрофитов - погруженные, воздушно-водные и с плавающими листьями также по разному накапливают тяжелые металлы. Такие особенности произрастания макрофитов во многом определяют и степень накопления тяжелых металлов в них. Механизм накопления тяжелых металлов макрофитами происходит как непосредственно из воды через листовую поверхность, так и из донных отложений через их корневую систему. Свободноплавающие гидрофиты (ряска, водокрас, трехдольница, многокоренник и др.), не имеющие связи с грунтом накапливают тяжелые металлы из воды. Поэтому они являются наиболее адекватными показателями загрязнения именно водной толщи тяжелыми металлами. Укореняющиеся гидрофиты с плавающими листьями (кубышка, кувшинка и др.) помимо водной массы накапливают значительную часть тяжелых металлов из донных отложений [2]. Наличие развитой корневой системы и активного транспорта из корней к листьям позволяет использовать эту группу макрофитов для определения антропогенных химиических нагрузок, произошедших в течение не только текущего сезона (по накоплению тяжелых металлов в листьях), но и предыдущих (по количеству металлов в корневищах и корнях). Аналогичный механизм наблюдается и у погруженных макрофитов (рдест, уруть, роголистник). Для воздушно-водных макрофитов с мощной корневой системой (тросник, рогоз) донные отложения являются основным источником поступления тяжелых металлов. Эта экологическая группа макрофитов является в большей степени индикатором загрязнения тяжелыми металлами донных отложений. Для решения вопросов, связанных с мониторингом состояния воды или донных отложений в водоемах и водотоках использование той или иной группы макрофитов повышает их индикаторную эффективность.

Характер накопления тяжелых металлов может различаться у макрофитов, относящихся к разным таксономическим рангам. Например, установлена разная накопительная способность у разных видов рдестов. Так, рдест пронзенный в большей степени может накапливать медь, рдест курчавый — цинк, а рдест гребенчатый — свинец [1].

Накопление тяжелых металлов различными морфологическими частями макрофитов (лист, стебель, корневища) также различно. У погруженных макрофитов и у макрофитов с плавающими листьями наиболее активно накапливают тяжелые металлы, как правило листья, а у воздушно-водных в большей степени корни.

Рассматривая механизм накопления тяжелых металлов макрофитами из донных отложений, следует отметить и обратный процесс - поступления металлов в донные отложения в результате отмирания водной растительности [5, 12].

Тяжелые металлы составляют значительную часть промышленных и бытовых стоков, поступающих в водоемы и водотоки. В ряде работ было показано, что накопление тяжелых металлов в водной среде происходит в их взаимосвязи [1, 13]. В частности, отмечалась взаимосвязь между марганцем и железом, никелем и кобальтом, кадмием и цинком, а также молибденом и железом. Анализ соотношений металлов в макрофитах, произрастающих в водоемах с разной степенью антропогенного воздействия показал, что наиболее адекватным показателем степени антропогенного загрязнения водного объекта являются значения Mn:Fe.

Для более эффективной оценки степени загрязнения водоемов и водотоков тяжелыми металлами представляется необходимым оценивать их концентрацию, как в воде, так и в макрофитах и донных отложениях. Соотношение количества тяжелых металлов в этих трех компонентах водоема позволяет дать более полную характеристику о динамике поступления тяжелых металлов в водный объект и скорость их трансформации из водной среды в донные отложения. Полученная картина явиться основой для мониторинга состояния водного объекта и динамики изменения уровня загрязнения водной массы и донных отложений.

Рассматривая основные аспекты использования макрофитов как биоиндикаторов тяжелых металлов в водоемах и водотоках, следует отметить, что практически в каждом разделе выявляется масса нерешенных вопросов. Работ по изучению особенностей накопления тяжелых металлов в макрофитах до настоящего времени очень мало, что во многом связано с отсутствием аналитического оборудования, а необходимость их проведения очевидна.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Балоян Б.М., В.М. Хромов, Использование высшей водной растительности для биоиндикации тяжелых металлов в воде. Прикладная экология опыт, результаты, прогнозы, вып.1, М.2007. С.173-186.
- 2. Власов Б.П., Г.С. Гигевич Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды Методич.рекомендации.Минск.БГУ.2002.84 С.
- 3. Власов Б.П., Г.С. Гигевич Индикаторная роль макрофитов при оценке состояния водоемов Беларуси Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. Тезисы докл.Межд.конф. СПб.2006.С.30-31.
- 4. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М. Мысль. 1983. 272 С.
- 5. Долотов А.В., М.В. Гапеева, Е.В. Козловский Оценка загрязнения тяжёлыми металлами Уводьского водохранилища Электронный научный журнал ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ 1461 http://doi.org/10.1016/http://doi.org/10.1
- 6. Капков В.И. Водоросли как биомаркеры загрязнения тяжелыми металлами морских прибрежных экосистем. Автореф.дисс. на соиск.ученой степени д.б.н..М.2003.48 С.
- 7. Микрякова Т.Ф. Накопление тяжелых металлов макрофитами в условиях различного уровня загрязнения водной среды. Водные ресурсы. 2002. Т 29,№2, C.253-255.
- 8. Мур Дж.В., С. Рамамурти Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния. М.:Мир, 1987. 286 с.
- 9. Никаноров А.М., А.В. Жулидов Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах Л.Гидрометеоиздат, 1991, 312 С.
- 10. Николишин И.Я. Возможности использования растений в качестве индикаторов накопления и действия тяжелых металлов в экологическом мониторинге. Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем Т.1.1978.С.42-56.
- 11. Хромов В.М. Макрофиты- биоиндикаторы тяжелых металлов в реках. Биоиндикация в мониторинге пресных вод Межд.конф.СПб.2006.С.156-157.
- 12. Demirezen D., Aksoy Ahmet. Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) living in Sultan Marsh (Kauseri, Turkey) Chemosphere, 2004.V.56,№7.P.685-696.
- 13. Riemer D.N., Toth S.J. Chemical composition of five species of Nymphaeaceae. Weed Sci. № 18.1968. P.4-6.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССООБМЕНА ЧЕРЕЗ ТРОПОПАУЗУ

### Ганьшин А. В.

ГУ Центральная аэрологическая обсерватория, г. Долгопрудный

Для исследования структуры и динамики атмосферы необходимы количественные оценки массообмена между стратосферой и тропосферой. Эти два нижних слоя атмосферы качественно отличаются друг от друга химическим составом, вертикальным градиентом температуры и вертикальной устойчивостью. В тропосфере сильно развиты Турбулентность и конвекция, сосредоточена преобладающая часть водяного пара. Тогда как в относительно сухой стратосфере значительно меньше вертикальное перемешивание и там же располагается озоновый слой. Водяной пар и озон являются одними из основных парниковых газов естественного происхождения, определяющими радиационный баланс в атмосфере. Хотя основная масса водяного пара сосредоточена в тропосфере, стратосферная влажность также имеет огромное значение в процессах формирования стратосферных

облаков и фотохимии с участием озона. Границей между тропосферой и стратосферой является тропопауза. В соответствии с определением Всемирной метеорологической организации высота термической тропопаузы определяется как уровень выше изобарической поверхности 500 гПа, на котором вертикальный градиент температуры уменьшается до  $2^0$  С/км или менее при условии, что средний вертикальный градиент в вышележащем двухкилометровом слое не превышает  $2^0$  С/км. Термическая тропопауза не определяет фиксированной поверхности какого-либо трассёра или барьер для массопереноса, в то же время она примерно совпадает с областью больших вертикальных градиентов трассёров, в частности озона (озонопауза) и динамического трассёра - потенциальной завихрённости (ПЗ). ПЗ может быть записана в следующем виде:

$$P = \frac{1}{\rho} \zeta_a \cdot \nabla \theta \,,$$

где  $\rho$  - плотность,  $\theta$  - потенциальная температура,  $\zeta_a = f \, {\bf k} + \nabla \times {\bf v}$  - абсолютная завихрённость, f - параметр Кориолиса ( $f = 2\omega \sin \varphi$ ,  $\omega$  - угловая скорость вращения Земли,  $\varphi$  - широта),  ${\bf k}$  - единичный вектор в вертикальном направлении,  ${\bf v}$  - горизонтальный ветер. Уровень динамической тропопаузы определяется как поверхность с постоянным значением ПЗ. Обычно значения ПЗ на уровне тропопаузы находятся в диапазоне 1.5-3.5 PVU ( $1 \, {\rm PVU} = 10^{-6} \, {\rm m}^2 \, {\rm c}^{-1} \, {\rm K} \, {\rm kr}^{-1}$ ). Уровню термической тропопаузы во внетропических широтах преимущественно соответствуют значение динамической тропопаузы равное  $3.5 \, {\rm PVU}$ . Для оценки интенсивности стратосферно-тропосферного обмена (CTO) могут быть использованы потоки через тропопаузу, полученные с помощью модельных расчётов. Потоки через тропопаузу определяют вертикальное распределение таких ключевых компонент, как озон и водяной пар, которые в большой степени определяют термическую структуру атмосферы. Кроме того, потоки через тропопаузу характеризуют степень проникновения антропогенных составляющих в стратосферу.

В данной работе представлена методика исследования СТО, при помощи которой будет произведена оценка потоков через тропопаузу, получен сезонный ход этих потоков, найдены места пересечения тропопаузы воздушными частицами. В качестве метеоданных используется достаточно новая база данных реанализа - JRA-25 [4] японского метеорологического агентства с пространственным разрешением 1.25°х1.25° и временным разрешением 6 часов.

### Описание траекторной модели

Для исследования процессов массообмена между тропосферой и стратосферой была использована траекторная модель TRACAO [3], которую после необходимой модификации и адаптации можно применять для решения поставленных задач. Принцип траекторного моделирования заключается в следующем:

Положение частицы в 3-х мерном пространстве  $(\vec{x})$  в момент времени  $t+\Delta t$  определяется как:

$$\vec{x}(t + \Delta t) = \vec{x}(t) + \vec{v}\Delta t \tag{1},$$

где  $\vec{v}$  - поле скорости ветров.

При анализе наблюдений и нахождении источников также часто используются обратные траектории, позволяющие определить происхождение воздушных масс, прибывающих в точку измерения. Перемещение воздушной частицы вдоль обратной траектории получим в виде:

$$\vec{x}(t - \Delta t) = \vec{x}(t) - \vec{v}\Delta t \tag{2}.$$

Обычно для решения задачи Коши вида

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{v}(\vec{x}, t), \ \vec{x}(t_0) = \vec{x}_0 \tag{3}$$

используют разностные схемы 2-го или 4-го порядка точности. В данной модели используется схема Рунге-Кутта 4-го порядка.

В начальный момент задаются координаты точки (широта, долгота) и её высота, которая может быть выражена в единицах геопотенциальной высоты, давления, сигма-уровня или потенциальной температуры. Кроме начальных координат задаются дата, время, направление (прямое или обратное) и продолжительность траектории. Начальная точка траектории и все последующие точки находятся внутри ячеек сетки полей метеоэлементов. Значения температуры, скоростей и других параметров интерполируются в эти точки. Затем осуществляется шаг по времени (15 минут) в горизонтальном и вертикальном направлении, и вычисляются координаты следующей точки траектории. На каждом шаге по времени мы получаем координаты точек траектории и значения параметров, интерполированных в эти точки.

Ключевыми параметрами для расчёта 3-х мерных траекторий являются 3 компоненты скорости ветра. В области тропопаузы и в тропосфере 3-х мерные траектории являются более надёжными, чем изоэнтропические, потому что там нарушается адиабатичность из-за скрытой теплоты испарения и конденсации и т.д. В зависимости от предназначения траекторий также и другие имеющиеся параметры (завихрённость, влажность, озон и т.д.) могут быть получены вдоль траекторий. Скорости ветра, температура и другие параметры обычно упакованы в виде GRIB или NetCDF файлов. Существуют программы декодирования этих файлов и перевода их в бинарные или текстовые файлы с последующим использованием в модели.

Ошибки при вычислении траекторий складываются из ошибок аппроксимации конечно-разностной схемы, ошибок интерполяции и неточности полей метеоэлементов, используемых при расчёте траекторий. Для валидации модельных траекторий часто используют траектории долгоживущих баллонов, например в тропических широтах и внутри полярного стратосферного вихря, либо сравнение с другими траекторными моделями.

### Лагранжев подход

Значения ПЗ вдоль траектории позволяют судить о происхождении воздушной частицы (тропосфера/стратосфера), а также о местоположении пересечения тропопаузы этой частицей. Эта информация является необходимой для расчёта потоков через тропопаузу. В лагранжевом подходе 3-х мерные траектории, инициализированные в узлах горизонтальной сетки на 15 различных изобарических поверхностях от 440 мб до 140 мб (т.е. заведомо выше и ниже тропопаузы) с шагом 20 мб, рассчитываются в прямом направлении в течении 6, 24 и 72 часов.

Для определения точки пересечения траектории с тропопаузой вдоль каждой траектории рассчитывается значения потенциальной завихрённости. Если начальное значение ПЗ было меньше 3.5 PVU, а затем стало его превышать, такое событие рассматривалось как тропосферно-стратосферный обмен (TCO). Если начальное значение превышало 3.5 PVU, а затем становилось меньше, то это рассматривалось как стратосферно-тропосферный обмен (СТО). Для расчёта потоков массу каждой воздушной частицы, заключенной в элементарный объём, можно определить следующим образом:

$$Mg = F = \Delta p \cdot S \tag{4}$$

Площадь в сферических координатах:

$$S = \left(r_0^2 \cos \varphi\right) \Delta \lambda \Delta \varphi \tag{5}$$

Отсюда окончательно находим:

$$M = -\frac{1}{g} \left( r_0^2 \cos \varphi \right) \Delta \lambda \Delta \varphi \Delta p \tag{6},$$

где  $r_0$  – радиус Земли, g – ускорение свободного падения,  $\lambda$ ,  $\varphi$ , и p долгота, широта и давление, соответственно. Масса предполагается неизменной и используется для расчёта потоков через тропопаузу. Суммируя воздушные частицы, пересекающие тропопаузу, на определённой площади, можно определить потоки на единицу площади, разделив суммарную массу на площадь и продолжительность траекторий.

### Wei-метод

Исходя из фундаментальных кинематических законов, поток воздуха через поверхность тропопаузы из тропосферы в стратосферу можно представить в виде:

$$F = \rho(\mathbf{V} - \mathbf{V}_{mp}) \cdot \mathbf{n} \tag{7},$$

где  $\rho$  - плотность воздуха, V - вектор скорости потока,  $\mathbf{V}_{_{M\!p}}$  - вектор скорости тропопаузы, n - вектор нормали к поверхности тропопаузы. При расчёте потоков малых составляющих (озон, водяной пар и т.д.) с массовым отношением смеси  $\chi$  в формуле (7)  $\rho$  заменяется на  $\rho\chi$  . Хотя формула (7) очень проста, на практике её редко используют в подобном виде. Для реальных расчетов более пригодна так называемая Wei-формула, которая может быть получена непосредственно из вышеприведенной [5,6]:

$$F = \rho \frac{\partial z}{\partial \eta} \left( \frac{d\eta}{dt} - \frac{\partial \eta^{\psi}}{\partial t} - \mathbf{v} \cdot \nabla \eta^{\psi} \right)$$
(8),

где t – время, z - высота,  $\eta$  - обобщённая вертикальная координата,  $\eta^{p}$  - обобщённая координата уровня тропопаузы, v - горизонтальный ветер,  $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla$  - полная

(лагранжева) производная. Wei-метод может быть представлен в различных формулировках в зависимости от выбора вертикальной координаты [5,6]. В качестве таких координат обычно используются давление, потенциальная температура и ПЗ. В последнем случае формула принимает наиболее простой вид, так как в качестве тропопаузы берется поверхность с постоянным значением ПЗ:

$$F = -\frac{1}{g} \frac{\partial p}{\partial PV} \frac{dPV}{dt} \tag{9},$$

где g – ускорение свободного падения, PV – потенциальная завихрённость. Поток F выражается в кг  $M^{-2}$   $C^{-1}$ . Кроме того эта формула по различным оценкам обеспечивает

наиболее приемлемые результаты, поскольку основным источником ошибок вычислений является правый член в скобках формулы (8).

Первый сомножитель в (9) характеризует наклон тропопаузы, второй сомножитель определяет глубину массообмена через тропопаузу. Производные рассчитываются на уровне тропопаузы. Поэтому на первом этапе определяется уровень динамической тропопаузы, соответствующий ПЗ, равной 3.5 PVU. Частная производная (1-й сомножитель) определяется с помощью значений в ближайших к тропопаузе узлах сетки, расположенных над и под тропопаузой. Лагранжева производная (2-й сомножитель) рассчитывается с помощью траекторий. С уровня тропопаузы рассчитываются 6 (24,72)-и часовые прямые и обратные траектории. Затем разница значений ПЗ на концах этих траекторий, делённая на 12 (48,144) часов, используются для оценки полной производной ПЗ. Поскольку в расчёте используются траектории, этот метод можно рассматривать как полулагранжев. В зависимости от продолжительности траекторий можно оценить величину потоков, а также области мелкого и глубокого обмена через тропопаузу. Последнее обстоятельство очень важно для оценок необратимого обмена таких компонент как озон и водяной пар.

# Расчет потоков и определение мест пересечения тропопаузы при помощи лагранжевого и Wei-метода

Для исследования процессов массобмена через тропопаузу при помощи Лагранжевого и wei-метода была произведена адаптация траекторной модели TRACAO. Сперва с помощью лагранжевого подхода были найдены места пересечения тропопаузы (области неглубокого обмена, продолжительность траекторий 6 часов, данные JRA-25, 18 февраля 2004 год) (рис. 1).

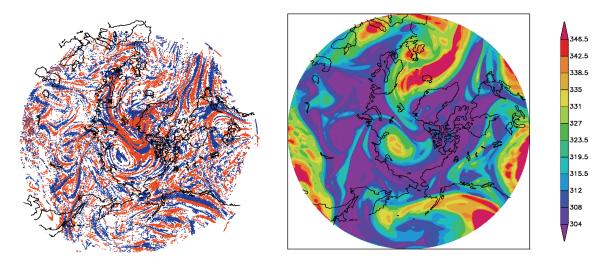


Рис. 1. Области пересечения тропопаузы: красный-ТСО, синий-СТО (слева); потенциальная температура на уровне тропопаузы (справа). Вид с северного полюса

Области пересечение тропопаузы в обоих направлениях для 18 февраля 2004 года показаны слева. Точки, соответствующие TCO, окрашены красным цветом, а соответствующие CTO — синим цветом. Справа показан уровень тропопаузу в единицах потенциальной температуры. Из рисунка видно хорошее соответствие областей пересечения тропопаузы и областей наклона тропопаузы. Т.е. оказывается, что массообмен в обоих направлениях происходит в местах наклона тропопаузы (границы циклонов, антициклонов, складок тропопаузы).

Удалось не только найти места пересечения тропопаузы, но и исследовать сезонную изменчивость потоков через тропопаузу при помощи лагражевого и wei-подхо-

да. Для этого в обоих методах моделирование проводилось сроком на год и продолжительностью траекторий 6, 24 и 72 часа с использованием данных JRA-25 на 23 уровнях изобарических поверхностей (тропосфера и стратосфера) с пространственным разрешением  $1.25^{\circ}$  х  $1.25^{\circ}$  и временным разрешением 6 часов. Рассматривалось только северное полушарие во внетропических широтах, 2004 год. Полученные результаты были усреднены по месяцам для получения годового хода потоков. Ниже приведены графики потоков СТО, ТСО для 6 часовых траекторий по лагранжевому и wei-методу (рис. 2).

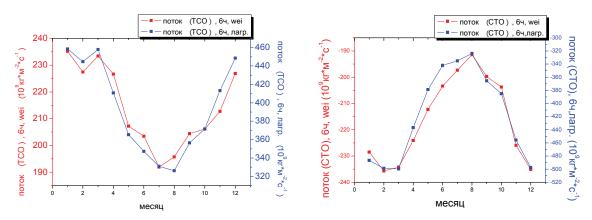


Рис. 2. Годовой ход потоков. Сравнение лагранжевого и wei- метод (6 часов)

Полученные графики качественно совпадают с результатами работ многих авторов [2, 6], в том числе совпадает порядок потоков, как в лагранжевом, так и в эйлеровом подходе. Виден характерный минимум в летний период, что объясняется низкой волновой активностью. Как было показано ранее (рис. 1), массообмен происходит в местах наклона тропопаузы, которые в свою очередь являются границами циклонов и антициклонов. Волновая активность (волны планетарного масштаба или волны Россби) как раз и приводит к образованию циклонов и антициклонов в зимний период. Минимум же волновой активности и приходится на летний период, что связано с разным характером среднезональной стратосферной циркуляции (западная зимой и восточная летом). Приведенные графики показывают хорошее совпадение результатов обоих методов. А также видна зависимость величины потоков от продолжительности траектории. Это связано с тем, что для продолжительных траекторий исключается неглубокий обмен. Но в wei-методе в этом случае, ухудшается точность аппроксимации производной. Если провести анализ [1], то становится видно, что оптимальной является продолжительность прямой и обратной траектории в 2–3 дня.

## Заключение

Целью данной работы являлось изучение процессов переноса в области тропопаузы, включая массообмен через тропопаузу. Эти процессы определяют вертикальное распределение парниковых газов, проникновение в стратосферу озоно-разрушающих веществ, что в конечном итоге сказывается на изменении климата.

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- Массобмен через тропопаузу во внетропических широтах происходит в местах наклона тропопаузы (границы циклонов/антициклонов, складки тропопаузы).
- Получена количественная оценка потоков СТО и ТСО с помощью лагранжевого и Wei методов.
- Расчёты с применением обоих методов подтвердили наличие максимума значений потоков в зимний период, связанного с повышенной волновой активностью.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Лукьянов, А.Н., А. Ю. Карпечко, В.А. Юшков, Л.И. Коршунов, С.М. Хайкин, А.В. Ганьшин, Э. Кюрё, Р. Киви, М. Матурилли, Х., Перенос водяного пара и озона в верхней тропосфере—нижней стратосфере и стратосферно—тропосферный обмен во время проведения кампании LAUTLOS, 2009, Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2009, т. 45, № 3, с. 316—324.
- 2. Holton, J. R., P. H. Haynes, M. E. McIntyre, A. R. Douglass, R. B. Rood, and L. Pfister, Stratosphere-troposphere exchange, Rev. Geophys, 33, 403–439, 1995
- 3. Lukyanov A., Nakane H., and Yushkov V. Lagrangian estimations of ozone loss in the core and edge region of the arctic polar vortex 1995/1996: Model results and observations J. Atmos. Chemistry, v.44, N2, 191-210, 2003
- 4. Onogi, K. et al. (2007): The JRA-25 Reanalysis. J. Meteor. Soc. Japan, 85, 369-432.
- 5. Wei, M.-Y., A new formulation of the exchange of mass and tracer constituents between the stratosphere and troposphere, J. Atmos. Sci., 20, 3079–3086, 1987.
- 6. Wirth, V., and J. Egger, Diagnosing extratropical synoptic-scale stratosphere-troposphere exchange: A case study, Q. J. R. Meteorol. Soc., 125, 635–655, 1999.

# ВЛИЯНИЕ ПОЛЕТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

## Дмитриева Т. М.

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), г. Москва

Влияние выбросов продуктов сгорания авиационного топлива, шума и радиационное воздействие воздушных судов на атмосферу изучается с начала 1970-х годов. Если в 1970-е годы основное внимание уделялось воздействию на озоносферу и радиационный режим стратосферы сверхзвуковых транспортных самолетов на высотах 16-20 км [9], то современные исследования направлены на анализ влияния дозвуковых самолетов в слое 9 - 13 км, поскольку на этих высотах выполняются основные объемы полетов гражданских воздушных судов. Наибольшая интенсивность авиационного транспортного сообщения наблюдается над Центральной и Южной Европой, США и Северной Атлантикой. Несколько меньше интенсивность движения над Юго-Восточной Азией с центром над Японией, Южным Китаем и Кореей. [26]. Полеты современной дозвуковой авиации происходят в слое тропопаузы средних широт. В связи с сезонным изменением высоты тропопаузы, летний максимум интенсивности полетов приходится на верхнюю тропосферу, а зимний минимум отмечается в нижней стратосфере. Амплитуда сезонного колебания интенсивности воздушного движения (и. соответственно, объемов выбросов) составляет 10-42% среднегодовой величины и максимальна (30%) над Северной Атлантикой [20, 26].

В конце XX века объем глобальных перевозок воздушным транспортом возрастал на 5% в год, а количество сожженного топлива - на 3,5-4,5% в год. В последние годы наблюдается интенсивный рост международных авиаперевозок, и, по прогнозам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), с 1990 по 2015 гг. темпы роста объема пассажирских авиаперевозок не изменятся, а потребление авиационного топлива будет возрастать на 3% в год [26]. С 2000 по 2006 гг. в Российской Федерации перевозки грузов и пассажиров при международном воздушном сообщении возросли на 33,3% и 106,0% соответственно [15].

Прогноз динамики выбросов на период до 2050 г. может быть сделан на основе известных сценариев ожидаемого роста антропогенных выбросов в атмосферу парниковых тазов и других веществ, способных изменить оптическую плотность атмосферы [21]. Ожидается, что во второй четверти XXI в. Интенсивность авиаперевозок будет увеличиваться на 1,4-3,2% в год. С учетом ожидаемых увеличений эффективности авиационных двигателей к 2050 г. глобальное количество сожженного топлива дозвуковой авиацией в тот год может изменяться от 270 до 770 Мт (наиболее вероятное значение 480 Мт) [8, 26].

При распространении в атмосфере выбросов продуктов сгорания авиатоплива выделяют три основные стадии: (1) начальная струя - первые 10 сек. после выброса продуктов сгорания из сопла –, (2) вихревая струя - период 10-100 сек. и (3) рассеяние струи продуктов сгорания с вовлечением окружающего воздуха - после 100 с до полного перемешивания струи с ним, что может продолжаться в течение нескольких часов или суток [10]. В первые 100 сек. струи выбросов из нескольких двигателей самолета и вихревые потоки с концов крыльев преобразуются в один вихревой след кругового сечения с резкими границами и с неоднородным распределением продуктов сгорания. Высокая температура на выводе из сопла авиационного двигателя за несколько секунд понижается до температуры окружающего воздуха, при которой начинаются фотохимические реакции между продуктами сгорания и составляющими окружающего воздуха [11]. Преобразованные в струе продукты сгорания распространяются в зонах коридоров полетов и вовлекаются в дальнейшие фотохимические и микрофизические превращения в глобальной атмосфере [2, 26].

Самолет, как и любая система, использующая энергию углеводородного топлива, выбрасывает в атмосферу продукты окисления, которые изменяют естественный состав атмосферы и поэтому могут рассматриваться как загрязнители.

В авиации применяется два вида топлива - керосин и бензин, несколько отличающиеся по составу продуктов сгорания. Продукты окисления этилированного бензина, используемого на самолетах с поршневыми двигателями содержат свинец, и количество самолетов с такими двигателями в современной авиации составляет менее 1% и постоянно уменьшается [1]. Соответственно целесообразно ограничить рассмотрение загрязнения воздуха продуктами горения авиационного керосина, которые, помимо  $CO_2$ , водяного пара,  $NO_x$  содержат CO, различные углеводороды (метан  $CH_4$ , ацетилен  $C_2H_6$  этан  $C_2H_4$ , пропан  $C_3H_8$ , бензол  $C_6H_6$  и др.), альдегиды (формальдегид *HCHO*, уксусный альдегид  $CH_3CHO$  и др.). Их выбросы определяются режимом горения в камерах двигателей и возрастают с повышением температуры сжигания, которая определяет более экономичный режим работы [26]. Согласно модельным расчетам, современные глобальные выбросы  $NO_x$  авиацией мира составляют до половины их содержания в слое 9-12 км, в зонах полетных коридоров [8]. До высот 16-20 км рост содержания  $NO_x$  приводит к увеличению концентрации озона, но выше этого уровня окислы азота разрушают озон [2]. Компонентный состав выбросов соединений серы зависит от содержания серы в топливе. Сульфатные аэрозоли формирующиеся в выбросах быстро, способствуют изменению оптической плотности атмосферы и разрушению озонового слоя [9, 23, 24]. Твердые частицы образуются в результате неполного сгорания топлива, а также из имеющихся в нем примесей. В среднем один реактивный самолет, потребляя в течение 1 часа 15 т. топлива и 625 т. воздуха, выпускает в окружающую среду 46,8 т.  $CO_2$ , 18 т. паров воды, 635 кг CO, 635 кг  $NO_x$ , 15 кг  $SO_x$ , 2,2 кг твердых частиц, в том числе тяжелые металлы цинк, свинец, медь, марганец, хром, ванадий и др. Средняя длительность пребывания этих веществ в атмосфере составляет два года [1].

Следует также отметить, что значительными, а в некоторых случаях определяющими источниками комплексного химического и физического загрязнения окружающей среды в современных условиях являются аэропорты, функционирование которых также связано с загрязнением атмосферы. Так, по данным Почекаевой и Винокура [7] содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе вблизи аэропортов составляет

 $NO_2$  - 3-3,5 ПДК, NO - 1,7-1,8 ПДК, CO - 1,1-1,6 ПДК,  $SO_2$  - 1,2-1,3 ПДК, твердые частицы (более 1 ПДК). Примерное выпадение пыли составляет 422-649 кг/кв.км в год. [7]

В табл. 1 перечислены составляющие выбросов турбореактивных авиационных двигателей и их влияние на атмосферу. [26]

Таблица 1 Продукты сгорания в выбросах транспортной авиации и их влияние на атмосферу по [26]

Загрязняющее вещество	Удельный выброс, г/кг	Атмосферный слой	Воздействие на атмосферу
$CO_2$	3140	Тропосфера	Радиационный нагрев
		Стратосфера	Радиационное охлаждение
$H_2O$	1260	Верхняя тропосфера	Радиационный нагрев
		и нижняя стратосфера	Образование конденсационных следов и перистых облаков (Ci)
		Стратосфера	Радиационное охлаждение Рост повторяемости ПСО и их участия в разрушении $O_3$
$NO + NO_2$	10-20	Верхняя тропосфера	Образование $O_3$ и нагрев
		и нижняя стратосфера	нижней тропосферы
		Стратосфера выше 20	Разрушение $O_3$ газофазное и с
		КМ	участием ПСО при увеличении их повторяемости
SO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,3-0,5	Тропосфера и стратосфера	Формирование сульфатных аэрозолей, радиационное охлаждение, участие в образовании конденсационных следов и Сі
СО	1-10	То же	Влияние на фотохимию и образование $O_3$
Сажа	0,01-0,1	То же	Радиационный нагрев слоя выброса, участие в образовании конденсационных следов с $H_2SO_4$
Аэрозоли металлов	$10^{7}$ - $10^{8}$	То же	Эффект несуществен

<sup>\*</sup>Примечание. ПСО - полярные стратосферные облака. Для аэрозолей металлов приведено число частиц на 1 кг сожженного топлива.

К аэрозольным продуктам выбросов от сгорания топлива относятся частицы  $H_2SO/H_2O$ , частицы сажи размером от нескольких единиц до нескольких десятков нанометров и ледяные частицы, формирующие конденсационные следы размером до 1-2 мкм в начальный момент, укрупняющиеся до 10-20 мкм и формирующие затем перистые облака [22]. Концентрации этих частиц в струе выброса в тысячи и миллионы раз превышают фоновые на высоте 10-12 км. Выбросы глобальной авиации сульфатных аэрозолей и сажи на высоте 10-12 км средних и высоких широт в привели к росту содержания аэрозолей в сотни и тысячи раз, а сажи в 30 раз [22]. Помимо участия аэрозольных продуктов сгорания в гетерогенных реакциях в струе выбросов, основное влияние на атмосферу оказывают образующиеся конденсационные следы, которые способны не только сохраняться в атмосфере, но и переходить в перистые облака при некоторых условиях. В формировании конденсационных следов участвуют и выброшенные частицы сажи, покрытые слоем  $H_2SO_4$ .

Самолеты выбрасывают в атмосферу и топливо. Это происходит не только в аварийных ситуациях, но и при нормальной эксплуатации во время продувки или

опорожнения дренажных емкостей, после неудачного запуска двигателя перед началом полета и после выключения двигателя по окончании полета, или для уменьшения посадочной массы. Часть топлива рассеивается в атмосфере без опасных последствий. Неиспарившаяся часть выпадает на подстилающую поверхность и вызывает локальные загрязнения. Авиационный шум нормируется в соответствии с ГОСТ [4]. В таблице 2 приведены допустимые уровни шумовых нагрузок при эксплуатации воздушных судов.

Таблица 2 Допустимые уровни шума при эксплуатации воздушных судов

Время суток	Эквивалентный уровень звука,	Максимальный уровень звука
	дБ (А)	при единичном воздействии
		LA, дБ(A)
День (с 7.00 до 23.00)	65	85
Ночь (с 23.00 до 7.00)	55	75

Шум земли вблизи аэродромов от прибывающих и убывающих воздушных судов зависит от типа самолетов и их силовых установок, применяемых режимов работы двигателей и величины скорости воздушных судов, траекторий полета, а также топографических и метеорологических условий конкретного аэродрома. Спектр шума реактивного двигателя занимает широкую полосу частот от 10 до 20 тыс. герц, но его основная энергия сосредоточена в области 50-10 тыс. герц. Спектр шума лопастных машин реактивных двигателей сосредоточен в области 2-5 тыс. герц, а струи – 100-400 герц [3]. Основным источником шума на аэродроме являются работающие авиационные двигатели во время запуска и прогревания, а также при взлете-посадке самолетов и вертолетов. При наземной работе двигателей среднее время руления по взлетно-посадочной полосе при взлете и посадке, начиная с момента запуска двигателей, составляет для самолетов разных типов от 10 до 18 минут. В этих условиях уровень шума в жилых кварталах (на стороне, обращенной к аэродрому на расстоянии до 2 км) составляет эквивалентный - 75-85 дБ А, максимальный - 90-92 дБ А. Максимальная шумовая нагрузка в жилых районах вдоль трасс воздушных судов достигает 85-103 дБ А [14]. Максимальные уровни шума в местах жилой застройки, и зоне движения воздушных судов представлены в таблице 3 [7].

Таблица 3 Уровни шума в местах жилой застройки в зоне движения воздушных судов [7]

Пункт наблюдения	Типы самолетов	Высота пролета в м	Максимальные уровни шума в Дб А
1 км (взлеты)	ТУ-154 М	100	103
	ТУ -134	100	98
	AH-24	100	90
3 км (взлеты)	ТУ-154 М	600	93
	ТУ -134	500	91
	AH-24	300	85
3 км (посадки)	ТУ-154 М	300	92
	ТУ -134	300	87
	AH-24	250	75

Эквивалентные уровни звука на жилой территории на расстоянии до 2 км от аэропорта достигают в дневное время 80 дБ А, в ночное время – 78 дБ А, при колебании максимальных уровней от 92 до 108 дБ А. Население, проживающее в зоне влияния аэропортов, получает суточную дозу шума, в 3 раза превосходящую допустимую величину. Существенному влиянию авиационного шума вблизи аэропортов подвержено около 3% граждан России, при этом численность населения Российской Федерации,

подверженного воздействию шума с превышением уровней звукового давления вблизи крупных аэропортов, достигает 1,5 млн. человек, а суммарная площадь территорий с превышением уровней звукового давления составляет более 5,8 тыс. км<sup>2</sup>. Аэропорты также являются источниками интенсивного электромагнитного излучения. [7]. Сравнение нормативов с данными о ежегодном налете самолето-часов [15] свидетельствует о существенном росте нагрузки на жилую застройку, лесные массивы и водоемы с 2000 по 2007 г.

Следует отметить, что более половины парка пассажирских воздушных судов РФ требуют доработки для снижения шумовой нагрузки в соответствии с требованиями ИКАО, в том числе пассажирские самолеты Ил-86, Ту-154Б, Ту-134, Ан-24, Ил-18. Из грузовых воздушных судов стандартам по шуму соответствуют только Ан-124-100. Главной причиной такого положения явилось значительное отличие отраслевых нормативных требований в РФ от стандартов ИКАО, старение эксплуатируемой авиатехники и несвоевременное выполнение доработок, в основном из-за финансовых трудностей [16].

Количественно радиационные эффекты выбросов авиации давно и широко оцениваются т.н. радиационным форсингом. Радиационный форсинг определяется как изменение полного эффективного потока радиации на уровне тропопаузы или на верхней границе атмосферы при введении возмущающего воздействия. При этом сохраняется исходная температура тропосферы, а температура стратосферы или сохраняется, или изменяется в радиационном равновесии с изменением содержания радиационного агента [10, 22].

По данным Секретариата РКИК ООН, доля выбросов парниковых газов  $CO_2$ ,  $CH_4$ , а также предшественников парниковых газов – CO и  $NO_x$  воздушными судами гражданской авиации от международных авиаперевозок в экономических развитых странах, ратифицировавших Киотский протокол составляет около 1,5% от общих суммарных выбросов, а в отдельных странах она достигает 12% [18].

В последние годы наблюдается интенсивный рост международных авиаперевозок, в результате чего потребление авиационного топлива возрастает, а, следовательно, возрастает и нагрузка на климатическую систему. По оценкам МГЭИК, реактивные двигатели современных воздушных судов выбрасывают до  $70\%\ CO_2$  [22]. Из-за большой продолжительности существования близкого к однородному распределения в атмосфере выбросы  $CO_2$  авиацией в верхней тропосфере и нижней стратосфере не оказывают и не окажут в будущем заметного влияния на атмосферу и климат. На высотах около 20 км рост содержания водяного пара приводит к увеличению количества конденсационных следов и облаков верхнего яруса в тропосфере, а также озоноразрушающих полярных стратосферных облаков [22].

Наиболее целесообразной является балансовая оценка выбросов парниковых газов в атмосферу, которая выражается набором последовательных расчетов, произведенных, например, в работах Кароля, Грабар с соавт., МГЭИК [5, 8, 22].

На основе данных о ежегодном налете самолето-часов по отдельным типам пассажирских и грузовых воздушных судов за период с 2000 по 2007 годы, которые были получены от Федеральной аэронавигационной службы России в рамках информационного обеспечения российской системы оценки антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов и данных по среднему часовому расходу топлива [6] выполнялся расчет выбросов  $CO_2$  от российских и зарубежных воздушных судов, выполняющих перелеты с территории России:

$$E_{CO2}(t) = FC(t) \cdot CF_{TCE} \cdot CF_{NCV} \cdot EF_{CO2}, \tag{1}$$

Где  $ECO_2(t)$ — эмиссия  $CO_2$  в году t, т; FC(t) — масса топлива, использованного в международных авиационных перевозках в году t, т;  $CF_{TCE}$  — коэффициент пересчета в тонны условного топлива угольного эквивалента (т.у.т.), т.у.т. •  $\tau^{-1}$ ;  $CF_{NCV}$  — коэффициент

пересчета в теплотворную способность,  $10^{12}$  Дж • т.у.т. $^{-1}$ ;  $EF_{CO2}$  — коэффициент эмиссии  $CO_2$ , т •  $10^{-12}$  Дж  $^{-1}$ .

Для определения массы топлива, использованного российскими и иностранными авиакомпаниями для осуществления авиационных перевозок с территории России, использовались данные налета самолето-часов основными типами эксплуатируемых грузовых и пассажирских воздушных судов. Расчеты выполняли по формуле 2:

$$FC(t) = \sum_{X} FT_{X}(t) \cdot FR_{X}, \qquad (2)$$

где FC(t) — масса топлива, потребленного российскими и иностранными перевозчиками при выполнении международных авиационных перевозок в году t, т;  $FT_X(t)$  — годовой налет по отдельным типам пассажирских и грузовых воздушных судов за год t, самолеточасов;  $FR_X$  — средний часовой расход топлива по типам воздушных судов x, т • ч<sup>-1</sup>.

Пересчет массы использованного авиационного керосина в тепловой эквивалент производился при помощи коэффициента пересчета в тонны условного топлива для авиационного керосина, величина которого 1,47 т.у.т. • т<sup>-1</sup> и коэффициента пересчета в теплотворную способность 0,0293 • 10<sup>12</sup> Дж • т.у.т. <sup>-1</sup>, разработанных Госкомстатом России в 1999 году, т<sup>1</sup>. Коэффициент эмиссии, использованный в расчетах выбросов диоксида углерода при международных авиационных перевозках, был взят из руководства МГЭИК [13]. Его величина составляет 71,5 т • 10<sup>-12</sup> Дж <sup>-1</sup>. На рис. 1 приведены результаты оценки выбросов диоксида углерода, как приоритетного парникового газа от международных авиаперевозок, выполненных с территории России с 2000 по 2007 гг. включительно на основе уточненных данных о типах воздушных судов и интенсивности их эксплуатации в международном авиационном сообщении.

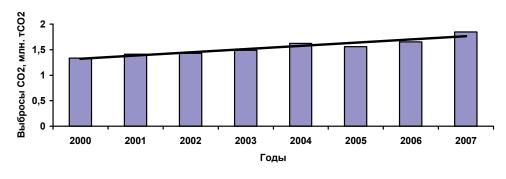


Рис. 1

Приведенные на рис. 1 величины охватывают 90% отечественных и зарубежных пассажирских и грузовых воздушных судов, совершающих перелеты с территории Российской Федерации и характеризуются высокой вариацией, что обусловливает необходимость анализа технических параметров каждого типа воздушного судна, для которого производится расчет.

Как показывают выполненные расчеты, с 2000 по 2007 годы отмечается рост выбросов диоксида углерода от внутренних и международных авиаперевозок, выполнявшихся с территории Российской Федерации. Несмотря на значительный рост, выбросы диоксида углерода от международных авиационных перевозок в среднем составляют менее 1% совокупных выбросов парниковых газов с территории Российской

¹ «Об утверждении «Методических положений по расчету топливно-энергетического баланса Российской Федерации в соответствии с международной практикой»» Утверждено постановлением Госкомстата России № 46 от 23 июня 1999 г

Федерации. Однако, принимая во внимание требование обязательной отчетности об этом виде хозяйственной деятельности, количественная оценка эмиссии диоксида углерода от международных авиационных перевозок представляется необходимой. Следовательно, проведение более точной и расширенной оценки выбросов парниковых газов и предшественников озона при внутренних и международных авиационных перевозках, совершаемых с территории Российской Федерации, представляется актуальной задачей. [19]

Результаты расчетов общего потребления авиационного керосина, выполненные по формуле 2 за период с 2000 по 2007 годы показывают, что в 2007 году потребление топлива воздушными судами составило около 2,45 млрд. т, то на 54,0% больше, чем в 2000 году. Значительный рост использования авиационного топлива в целом согласуется с тенденциями увеличения объемов международных грузовых и пассажирских перевозок, о которых говорилось выше. [5]

Важным компонентом количественной оценки эмиссии парниковых газов является анализ точности выполненных расчетов, которая определяется достоверностью исходных данных и конверсионных коэффициентов. Как указывается в Руководящих указаниях МГЭИК по эффективной практике, неопределенность коэффициентов выбросов  $CO_2$  для разных видов топлив находится, как правило, в пределах  $\pm 5$  %, поскольку они зависят в основном от содержания углерода в конкретном топливе и достаточно точно определены, а источником более высокой неопределенности могут быть исходные данные [17]. В частности, МГЭИК рекомендует выполнять расчеты отдельно для цикла взлета и посадки и периода крейсерского полета воздушных судов, что было невозможно сделать на основе имевшихся доступных данных. В то же самое время в руководстве МГЭИК указывается, что до 90% выбросов воздушных судов приходится на больших высотах, то есть во время их крейсерского полета [13]. Принимая во внимание незначительные выбросы диоксида углерода во время взлета и посадки воздушных судов, можно сказать, что выполненные расчеты в целом соответствуют требованиям МГЭИК.

Другим важным критерием качества выполненных оценок является их полнота. Как указывалось выше, наряду с диоксидом углерода воздушные суда выбрасывают парниковые газы  $CH_4$  и предшественники озона  $NO_x$ , CO, HMЛOC и  $SO_x$ . И хотя доля этих газов в общем объеме выбросов невелика, метан обладает большим, чем диоксид углерода, потенциалом глобального потепления, и, следовательно, его воздействие на климатическую систему следует также учитывать. Расчет выбросов метана и предшественников озона следует рассматривать в качестве приоритетной задачи дальнейших исследований.

Не менее важным представляется выполнение расчетов выбросов парниковых газов для более ранних лет, включая 1990 год, который является базовым годом РКИК ООН и Киотского протокола. С 1990 годом сравниваются выбросы в период выполнения обязательств по Киотскому протоколу, и получение информации о выбросах от международных авиационных перевозок в 1990 году также следует считать приоритетной задачей дальнейших исследований для определения степени выполнения Российской Федерацией принятых в рамках РКИК ООН и Киотского протокола обязательств. Выполнение таких расчетов следует считать первоочередной задачей дальнейших исследований.

В настоящее время влияние полетов транспортной авиации мира на атмосферу и, особенно, на климат невелико. К обнаруживаемым эффектам выбросов газовых продуктов сгорания можно отнести увеличение концентрации окислов азота  $NO_x$  в слое 9-13 км вдоль основных коридоров интенсивных полетов дозвуковых самолетов. Аэрозольные выбросы и выбросы  $H_2O$  образуют видимые и продолжительные конденсационные следы, повторяемость и общая их площадь растет, коррелируя с объемом сожженного топлива [8].

Уменьшение выбросов в атмосферу "климатически" активных примесей транспортной авиацией может быть также получено в результате изменения трасс полетов. Например, полеты летом в нижней стратосфере приводят к большей степени окисления  $NO_x$  в струе выброса и меньшей доле их попадания в глобальный резервуар окислов азота, воздействующих на озоносферу, чем полеты в тропосфере. В итоге следует признать, что выбросы от полетов транспортной авиации занимают весьма скромное место в общем списке антропогенных воздействий на состав глобальной атмосферы и климат. Можно ожидать того же и в более далеком будущем в связи с общим техническим и управленческим прогрессом в транспортной авиации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Аксенов И.Я., В.И. Аксенов Транспорт и охрана окружающей среды. М.: Транспорт, 1986. 176 с.
- 2. Александров Э.Л., Ю.А. Израэль, И.Л. Кароль, А.Х. Хргиан Озонный щит Земли и его изменения. СПб, Гидрометериздат, 1992, гл. 8.
- 3. Борьба с шумом на производстве. Справочник. Под общей редакцией д-ра техн. наук проф. Е.Я. Юдина 1985 г. 400 стр. ил.
- 4. ГОСТ 22283-88 «Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения».
- 5. Грабар В.А., Т.М. Дмитриева, М.Л. Гитарский К оценке атмосферной эмиссии от международных авиаперевозок с территории России, сборник ИГКЭ "Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем", 2008
- 6. Ежегодник АТО, 2007; Гражданская авиация, 2006
- 7. Почекаева Е.И., И.Л. Винокур Здоровье населения и гигиеническая безопасность территорий, прилегающих к аэропортам. Монография, М., 2006.- 240 с.
- 8. Кароль И.Л. Влияние полетов транспортной авиации мира на озоносферу и климат., Метеорология и гидрология, №7, 2000 г., 15 с.
- 9. Кароль И.Л. Оценки характеристик относительного вклада парниковых газов в глобальное потепление климата. Метеорология и гидрология, 1996, № 11, с. 5-12.
- 10. Кароль И.Л., Ю.Э. Озолин Моделирование маломасштабного влияния выбросов двигателей высотных самолетов на состав атмосферы. Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 1995, т. 31, № 4, с. 507-516.
- 11. Кароль И.Л. Оценки характеристик относительного вклада парниковых газов в глобальное потепление климата. Метеорология и гидрология, 1996, № 11, с. 5-12.
- 12. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. 2005, 38 с.
- 13. Игглестон Х.С., Буэндиа Л., Мива К., Нгара Т и Танабе К. (Ред.) Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. Подготовлено Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК ИГЕС.
- 14. Почекаева Е.И. Авиационный городской шум как гигиеническая проблема //Региональные гигиенические проблемы и стратегия охраны здоровья населения /Научные труды Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф Эрисмана, выпуск 10. -2004.- С.175-179.
- 15. Российский статистический ежегодник, 2007 Стат. сб. Росстат. -М., 2007, -826 с.
- 16. Руководство по предотвращению авиационных происшествий, документ ИКАО DOC 9482-AN/923
- 17. Руководящие указания по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов. IPCC-IGES-OECD-IEA. Hayama, 2000.
- 18. Технический доклад Секретариата РКИК ООН FCCC/TP/2007/1

- 19. Четвертое национальное сообщение Российской Федерации. Издание официальное. (Под ред. Ю.А. Израэля, А.И. Нахутина, С.М. Семенова и др.) –М.: АНО Метеоагентство Росгидромета, 2006, -164 с.
- 20. Baughcum S. L. Aircraft emissions. /In: Atmospheric Effects of Subsonic Aircraft: Interim Rep., R. Friedl (ed.). NASA Ref. Publicat. 1400, 1997, pp. 5-26.
- 21. Houghton J. T., Meira Filho L. C, el al. (eds.) Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Cambridge Univ. Press, 1996, 576 p.
- 22. J.E.Penner, D.H.Lister, D.J.Griggs, D.J.Dokken, M.McFarland (Eds.) Aviation and the Global Atmosphere. Special Report. Cambridge University Press, UK, 1999, pp 373. IPCC, 1999.
- 23. Karcher B. et al. Physicochemistry of aircraftt-generated liquid aerosols soot and ice particles. 1. Model 'description. J. Geophys. Res, 1998, vol: 103, pp. 17111-17128.
- 24. Karcher B. et al. Physicochemistry of aircraftt-generated liquid aerosols soot and ice particles. 2. Comparison with observations and sensitivity studies. J. Geophys. Res., 1998, vol. 103, pp. 17129-17147.

# ЛИДАРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ТРОПОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШОГО ГОРОДА (Г. МОСКВА)

### Зеленков И. В.

ГУ Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Фёдорова, Москва

В настоящее время с учетом важности проблем глобальных изменений окружающей природной среды и климата становится весьма актуальной задача организации эффективных систем мониторинга климатообразующих параметров системы Земля-Атмосфера.

С середины 60-х годов XX века в исследовании свойств атмосферы принимает активное участие метод лазерной локации или, в современном прочтении науки, «лидарного зондирования», когда при распространении лазерного излучения в атмосфере используются эффекты взаимодействия электромагнитной волны с воздушной средой, которые позволяют делать выводы о свойствах атмосферы.

С технической точки зрения лазерные способы изучения атмосферы можно разделить на два основных: в первом используются разнесенные по трассе измерений лазер и приемник излучения или совмещенный лазер-приемник и отражатель на другом конце трассы, а во втором лазер и приемник обратнорассеянного в атмосфере излучения совмещены в лазерном локаторе или «лидаре». Практические задачи метеорологии требуют в большинстве своем создания дистанционных средств исследования атмосферы, кроме того, при изучении верхних слоев атмосферы задача размещения отражателя лазерного излучения на большой высоте представляет определенную сложность с технической точки зрения, поэтому локационный способ измерений и получает большее распространение. Лидарные измерения параметров атмосферы являются дистанционными и не нуждаются в метеорологических подъемных средствах, таких как метеорологические ракеты или шарыпилоты, поэтому при таких способах измерений нет возмущающего воздействия приборов на воздушную среду и, как следствие, нет необходимости оценивать газодинамические эффекты взаимодействия измерительного датчика с атмосферой.

В настоящей статье будут использоваться данные аэрозольного лидарного комплекса, который был создан и внедрен в Институте Прикладной Геофизики имени академика Е.К. Федорова для изучения особенностей динамических процессов и аэрозольного загрязнения тропо-стратосферы в условиях большого города (г. Москва).

В настоящее время произведено уже несколько тысяч сеансов зондирования. Накоплен огромный массив данных профилей получаемого сигнала. Ведется разработка методики обработки данных, необходимой для построения графиков распределения аэрозоля.

Таблица 1. Сводная таблица сеансов зондирования за период с марта 2006 по декабрь 2007 года

	20.02.2006	0.5.04.0006	12 0 1 200 6	20.04.2006	24042006	16070006
Дата		05.04.2006		20.04.2006	24.04.2006	16.05.2006
Кол-во сеансов	4	14	8	5	1	10
Дата	17.05.2006	8.05.2006	3.05.2006	25.05.2006	28.06.2006	29.06.2006
Кол-во сеансов	31	34	192	15	76	115
Дата	04.07.2006	05.07.2006	26.07.2006	10.08.2006	11.08.2006	14.08.2006
Кол-во сеансов	38	13	61	8	8	9
Дата	16.08.2006	18.08.2006	29.08.2006	30.08.2006	14.09.2006	22.09.2006
Кол-во сеансов	64	65	15	20	8	25
Дата	27.09.2006	28.09.2006	11.10.2006	12.10.2006	13.10.2006	17.10.2006
Кол-во сеансов	121	13	15	2	17	45
Дата	19.10.2006	20.10.2006	24.10.2006	25.10.2006	31.10.2006	3.11.2006
Кол-во сеансов	5	24	11	9	32	81
Дата	16.04.2007	18.04.2007	22.05.2007	25.05.2007	28.05.2007	07.06.2007
Кол-во сеансов	11	8	10	16	14	11
Дата	08.06.2007	09.06.2007	13.06.2007	14.06.2007	18.06.2007	20.06.2007
Кол-во сеансов	21	47	109	31	85	8
Дата	21.06.2007	25.06.2007	26.07.2006	27.06.2007	28.06.2007	29.06.2007
Кол-во сеансов	66	33	69	39	6	18
Дата	05.07.2007	11.07.2007	13.07.2007	17.07.2007	23.07.2007	29.07.2007
Кол-во сеансов	34	111	63	25	28	26
Дата	30.07.2007	31.07.2007	01.08.2007	24.08.2007	25.08.2007	18.09.2007
Кол-во сеансов	240	35	16	156	40	76
Дата	19.09.2007	21.09.2007	25.09.2007	26.09.2007	01.10.2007	02.10.2007
Кол-во сеансов	52	38	139	85	38	82
Дата	03.10.2007	11.10.2007	12.10.2007	17.10.2007	23.10.2007	20.11.2007
Кол-во сеансов	24	22	2	20	17	12
Дата	21.11.2007	22.11.2007	09.01.2008			
Кол-во сеансов	25	45	60			

В основе этого лидарного комплекса лежит использование 2-х частотного твердотельного лазера Nd: Yag, работающего на частотах 1064 нм и 532 нм и излучающего энергию в импульсе соответственно 0,4 Дж и 180 мДж. Расходимость лазерного луча составляет  $1/10^3$  рад. Частота повторения импульсов -12,5-25 Гц. В качестве приемной части лидара, используется телескоп системы Кассегрена, разработанный ранее для космического лидара АЛИСА [1], который был установлен на станции МИР. Диаметр главного зеркала 400 мм, полоса пропускания -1 нм, поле зрения телескопа  $-3/10^3$  рад.

Для приема сигнала используются два электронно-оптических канала, обеспечивающих регистрацию сигнала в аналоговом режиме. Первый канал (1064 нм) использует

фотодиод, на втором канале (532 нм) используется фотоэлектронный умножитель ФЭУ-84, работающий в аналоговом режиме. Регистрация сигнала осуществляется на ПК при помощи специальной интерфейсной платы и соответствующего программного обеспечения TROPOSUIT, позволяющего в режиме реального времени наблюдать профиль получаемого сигнала, а также проводить первичную обработку и хранение регистрируемых данных.



Рис. 1. Аэрозольный лидарный комплекс в ИПГ

Специализированное программное обеспечение TROPOSUIT, разработанное в рамках проекта CIS-LiNet [2], может быть использовано для обработки данных следующих типов лидарных измерений:

1. Зондирование тропосферного аэрозоля:

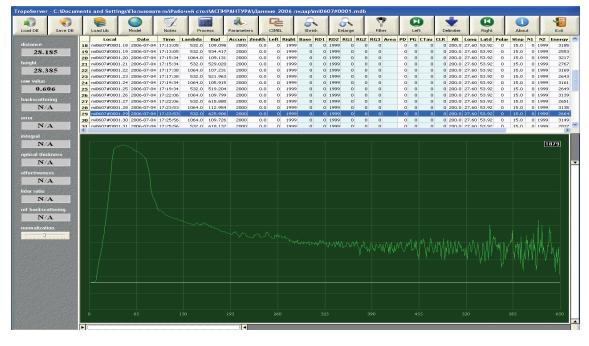
Одноволновое зондирование

Многоволновое зондироваение

Зондирование в комплексе с солнечным фотометром в сети AERONET Измерения показателя ослабления посредством Рамановского канала Измерение деполяризации

- 2. Зондирование стратосферного аэрозоля
- 3. Зондирование озона

Программный пакет обеспечивает процедуру обработки лидарных данных от этапа измерения лидарной системой до размещения результатов обработки в базу данных.



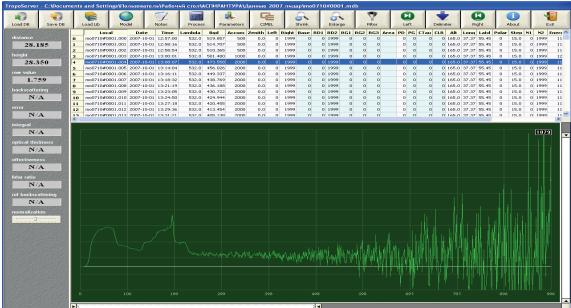


Рис. 2. Примеры визуализация сигнала обратного рассеивания

На первом этапе разрабатываемой технологии обработки лидарных данных результаты измерений и восстановленные параметры атмосферных компонентов размещаются в Базу данных. На всех этапах обработки мы оперируем целым рядом файлов, записанных в Базе данных. База данных исходных лидарных сигналов формируется на этапе измерений программой ULIS или (если пользователь применяет другое техническое обеспечение) посредством размещения результатов измерений в специальную EXCELL таблицу и ее конвертацию в Базу данных. Использование Базы данных для накопления и хранения информации предоставляет большие возможности проводить отбор, систематизацию, корректировку параметров измеряемых сигналов и другую обработку информации.

В качестве основы для формирования базы данных используется программный пакет ACCESS.

Обработка лидарных данных осуществляется посредством набора расчетных модулей, предназначенных для восстановления различных параметров атмосферных компонентов. Специальная программа-оболочка обеспечивает пользователю возможность работать с библиотекой расчетных модулей.

При определении оптических характеристик атмосферного аэрозоля, выражая их через принятый сигнал, применяется лидарное уравнение:

$$N(H) = N_0(H) * C * \Delta H * \beta_{\pi}(H) * T^2(H)$$
(1)

где H - высота, N(H) - информативный зарегистрированный сигнал (за вычетом фона),  $N_0(H)$  - число фотонов, излученных лидаром, C-аппаратурная константа

$$\beta_{\pi}(H) = \beta_{\pi}^{M}(H) + \beta_{\pi}^{a}(H)$$

 $eta_{\pi}^{\scriptscriptstyle M}(H), eta_{\pi}^{\scriptscriptstyle a}(H)$  - коэффициенты обратного молекулярного и аэрозольного рассеяния соответственно

$$T(H) = \exp \left[ -\int_{0}^{H} \alpha(h) dh \right]$$
 - прозрачность атмосферы, представляющая собой сумму

коэффициентов поглощения и полного рассеяния. Коэффициенты поглощения значительно меньше коэффициентов полного рассеяния, поэтому  $\alpha_M$  и  $\alpha_a$  представляют собой коэффициенты полного рассеяния на молекулах и аэрозоле соответственно. В уравнении (1) профиль коэффициента обратного молекулярного рассеяния  $\beta_\pi^M(H)$  предполагается известным либо из данных аэрологического зондирования, либо на основе модельных значений.

Таким образом, превышение значений  $\beta_{\pi}(H)$  относительно  $\beta_{\pi}^{M}(H)$  соответствует значениям коэффициента обратного аэрозольного рассеяния, т.е.  $\beta_{\pi}^{M}(H) = \beta_{\pi}(H) - \beta_{\pi}^{M}(H)$ 

При вертикальном зондировании в тропосфере, когда концентрация аэрозоля с высотой спадает практически по экспоненте, неточность задания  $\beta_\pi^a(H_0)$  вносит незначительную погрешность в определение коэффициента обратного аэрозольного рассеяния на остальных высотах. При использовании метода калибровки в стратосфере предполагается наличие участка, на котором аэрозоль отсутствует, и точка калибровки выбирается по минимуму функции

$$F(H) = \frac{N(H)H^2}{\beta_{\pi}^{M}(H)}$$

Для более рельефного представления особенностей вертикального распределения стратосферного аэрозоля используется отношение рассеяния

$$R(H) = \frac{\beta_{\pi}^{M}(H) + \beta_{\pi}^{a}(H)}{\beta_{\pi}^{M}(H)}$$

$$\tag{2}$$

Из выражения (2) следует, что случайная ошибка измерений в пренебрежении неточностью задания профиля молекулярного рассеяния и оценки прозрачности атмосферы можно представить в виде:

$$\frac{\delta R(H)}{R(H)} = \sqrt{\frac{N(H) + N_{\phi o H}}{[N(H)]^2}} + \frac{N(H_0) + N_{\phi o H}}{[N(H_0)]^2}$$
(3)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Тулинов Г.Ф., Мельников В.Е., Житкова М.Б. и др. Космический лидар "АЛИСА" для орбитальной станции "МИР". В сб. Инженерная экология №5, 1997, с. 80-91
- 2. Чайковский А.П., Иванов А.П., Балин Ю.С., Ельников А.В., Тулинов Г.Ф. и др. Лидарная сеть CIS-LiNet для мониторинга аэрозоля и озона: методология и аппаратура. Журнал "Оптика атмосферы и океана", с. 1066

## АНАЛИЗ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРОПОПАУЗЫ ПО РАДИОЗОНДОВЫМ ДАННЫМ

### Козлова Л. Ф.

ГУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации— Мировой центр данных, г. Обнинск

### Введение

Тропопауза является важной характеристикой атмосферы, определяющей различные циркуляционные и термодинамические процессы верхней тропосферы и нижней стратосферы. Учёные, занимающиеся вопросами изменения климата и атмосферных процессов, обращают пристальное внимание на состояние тропопаузы, поскольку она является хорошим индикатором таких изменений. Большое количество научных работ посвящено исследованию свойств и особенностей тропопаузы, в том числе, выявлению причин, вызывающих изменения её параметров [6, 8, 9]. Так, Б.Д. Сантер в своих работах [6, 8] определяет значительную роль антропогенных воздействий на высоту тропопаузы, учитывая между тем и естественные факторы, вызывающие изменения ее высоты. Несомненным ценнейшим вкладом в понимание природы тропопаузы и в исследование структуры полей ее характеристик является цикл классических работ 3.М. Маховера, результаты которых обобщены в монографии [2]. Следует, однако, отметить, что в настоящее время имеется возможность исследования характеристик тропопаузы и долгопериодных тенденций их изменений на основе значительно более полных источников данных и за более длительный период.

Более того, в настоящее время появились несколько различных источников получения информации о тропопаузе, иных, чем радиозондовые данные, — массивы реанализа (ERA40, NCEP), спутниковые данные (GPS/MET, CHAMP, SAC-C), результаты численного моделирования. Многочисленные исследования слоя тропопаузы проводятся с использованием этих источников информации [4, 5, 7] и включают результаты сопоставления характеристик, полученных из различных источников и анализ причин различий. Тем не менее, одним из основных источников эмпирических данных о тропопаузе и изменениях ее характеристик продолжают оставаться радиозондовые данные. Имеющиеся в настоящее время массивы радиозондовых данных (CARDS, IGRA, АЭРОСТАБ) по глобальной сети наблюдений позволяют не только изучить и уточнить структуру климатических характеристик тропопаузы, но и дают возможность определить тенденции ее долгопериодных изменений, в том числе с учетом изменений, произошедших в последние голы.

Данная работа посвящена анализу некоторых климатических показателей тропопаузы, отражающих её многолетний режим над территорией РФ, на основе массива АЭРОСТАБ, пополнение которого осуществляется в ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» на основе поступающих по каналам связи текущих данных.

### Данные

Используемый в работе массив АЭРОСТАБ содержит текущие данные радиозондовых наблюдений, собираемые в ГУ "ВНИИГМИ-МЦД" по глобальной сети станций. В массиве данные представлены на уровне земли, на стандартных изобарических поверхностях, на особых уровнях по температуре и влажности, на особых уровнях по ветру, на уровне тропопаузы. Содержанием архива являются проконтролированные значения давления, высоты геопотенциала, температуры, дефицита точки росы, направления и скорости ветра, облачности. Каждый файл данных содержит поступившие данные за месяц по N станциям и представляет собой последовательность записей переменной длины, которые упорядочены по индексам станций, для каждой станции по дням месяца, для каждого дня месяца по срокам, для каждого срока, который является записью, по уровням. Массив регулярно пополняется порциями месячных данных.

### Обработка исходного массива

Постанционные ряды наблюдений массива АЭРОСТАБ формировались путем инвертирования исходных данных в файлы и обрабатывались стандартными статистическими методами.

В процессе обработки также осуществлялась проверка соответствия данных на уровне тропопаузы критерию ВМО, согласно которому тропопауза и её характер определяются по значениям и изменению вертикального градиента температуры [2]. Путём совместной обработки с данными на вышележащих уровнях, расчётов температурных градиентов были выполнены соответствующие проверки. Кроме того, выявлялось наличие (отсутствие) множественной тропопаузы.

Исследование проводилось для шестидесяти относительно полных и длиннорядных аэрологических станций различных частей территории  $P\Phi$  за период 1978-2007 гг. На рис.1 представлена карта распределения аэрологических станций на территории  $P\Phi$ , в том числе участвующих в анализе.

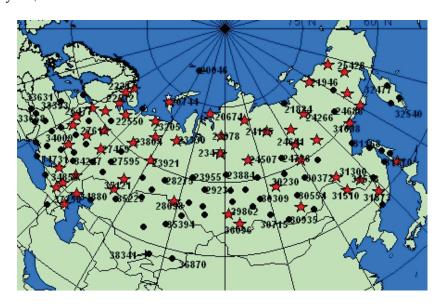


Рис. 1. Карта распределения аэрологических станций на территории РФ. Станции, отобранные для исследования, обозначены звёздами

Известно, что при массовой аэроклиматической обработке данных удобно использовать приём разделения тропопаузы на полярную и тропическую по высоте её нижней границы [3]. В данной работе идентификация географического типа тропопаузы проводилась согласно этому критерию, применение которого значительно упрощает получение характеристик тропопаузы, допуская при этом небольшие абсолютные ошибки.

В качестве поверхности, разделяющей полярную и тропическую тропопаузу, была принята изобарическая поверхность 150 гПа [2].

## Анализ климатических характеристик тропопаузы

В ходе проделанной работы были выполнены расчёты традиционных, порядковых статистик метеовеличин на уровне нижней границы тропопаузы (НГТ). В частности, для температуры, давления и высоты НГТ были вычислены следующие статистические величины:

- средние, среднеквадратические отклонения;
- максимум, минимум, их разность (размах);
- число корректных наблюдений;
- ассиметрия и эксцесс;
- медиана;
- первая и третья квартили, их разность (межквартильный размах);
- 5, 10, 90 и 95-процентные квантили.

По результатам сопоставления полученных статистик с аналогичными статистическими характеристиками атласа Маховера [1] за 1957-1965 гг. можно заметить, что наблюдается некоторый подъём высоты тропопаузы.

Также были выполнены расчёты годовых амплитуд средних многолетних значений температуры, высоты и давления на НГТ. Годовые амплитуды высоты НГТ для рассмотренных станций заключаются в пределах от 1,0 до 3, 8 км, температуры – от 3,1 до 15,4 °C и давления – от 17,8 до 115,3 гПа. Полученные характеристики соответствуют аналогичным результатам, полученным независимо в других источниках, в частности, в [2].

На рис. 2 показан годовой ход средних многолетних значений характеристик тропопаузы (температура, давление, высота геопотенциала на НГТ), для станций Долгопрудная, Волгоград и Охотск.

Кроме того, были получены оценки линейных трендов характеристик тропопаузы для каждой из рассмотренных длиннорядных станций территории РФ. Тренды месячных аномалий высоты геопотенциала и температуры на нижней границе тропопаузы для большинства станций являются статистически значимыми положительными (табл. 1, в скобках указаны стандартные ошибки вычисления трендов). В таб. 1 исключены станции, для которых как минимум по двум из трех характеристик стандартные ошибки трендов превышают сами значения трендов по абсолютной величине. На рис. 3 представлена карта оценок линейных трендов месячных аномалий температуры НГТ для станций РФ.

Рассмотрены особенности годового хода трендов. На рисунке ниже показан годовой ход трендов выше перечисленных характеристик тропопаузы (рис.4), для станций Долгопрудная, Волгоград и Охотск. Показаны стандартные ошибки вычисления трендов. Видно, что при рассмотрении трендов за отдельные месяцы, картина более сложная и неоднозначная, чем для представленных в табл. 1 результатов оценки трендов месячных аномалий по хронологически упорядоченным данным.

По результатам проведённых исследований можно сказать, что структура полей полярной тропопаузы над РФ соответствует тем представлениям, которые сформировались в 70-80 годы 20 века.

Характер трендов высоты и температуры для НГТ (полярной) соответствует представлениям о потеплении климата.

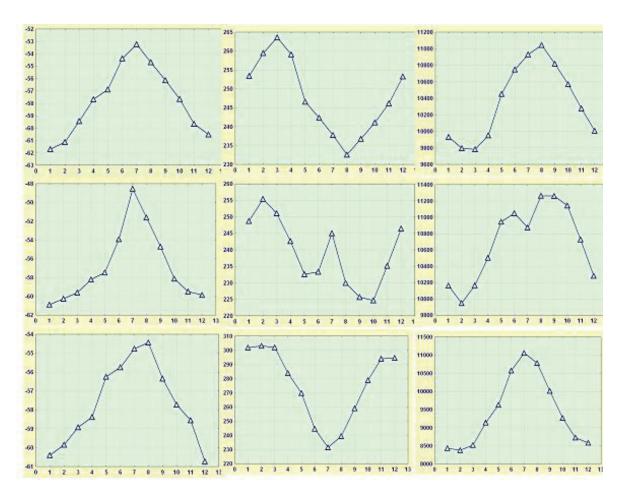


Рис. 2. Годовой ход средних многолетних значений температуры (слева), давления (в центре) и высоты (справа) для станций Долгопрудная (верхний ряд), Волгоград (средний ряд) и Охотск (нижний ряд)

Таблица 1 Таблица оценок линейных трендов месячных аномалий температуры, давления и высоты геопотенциала на нижней границе тропопаузы

Станция	Тренд Т (°C/10 лет)	Тренд Р (гПа/10 лет)	Тренд Н (Гпм/10 лет)
Кемь	0,26(0,12)	-4,03(1,01)	107,16(30,52)
Нарьян-Мар	-0,14(0,13)	-4,48(1,09)	128,85(36,74)
Оленек	0,15(0,13)	-2,57(1,18)	63,78(30,53)
Великие Луки	0,39(0,15)	-1,16(1,14)	58,19(38,11)
Долгопрудная	0,18(0,12)	-1,94(0,96)	67,74(32,55)
Ивдель	0,16(0,14)	-2,06(1,13)	45,85(38,15)
Киренск	0,29(0,11)	-3,06(0,97)	90,32(31,54)
Охотек	0,39(0,13)	-4,77(1,05)	131,58(31,76)
Оренбург	0,26(0,14)	-3,31(1,01)	105,57(31,50)
Дивное	0,09(0,13)	-4,73(0,84)	145,98(27,59)
Петропавловск-Камч.	0,26(0,12)	-3,89(0,92)	110,56(30,48)

Станция	Тренд Т (°С/10 лет)	Тренд Р (гПа/10 лет)	Тренд Н (Гпм/10 лет)
Кызыл	0,16(0,09)	-1,52(0,91)	60,90(31,81)
Дальнереченск	0,46(0,11)	-3,22(0,87)	104,35(28,47)
Ростов-на-Дону	0,60(0,12)	-3,69(0,97)	132,49(32,19)
Астрахань 34880	0,38(0,14)	2,00(0,95)	-36,40(32,21)
Мин.воды	0,19(0,17)	-2,21(0,99)	63,39(30,48)
Олекминск	0,27(0,10)	-1,77(0,95)	52,05(28,94)
Салехард	0,18(0,13)	-3,62(1,11)	87,74(34,26)
Уфа	0,39(0,14)	-4,59(1,33)	135,72(44,51)
Южно-Сахалинск	0,22(0,09)	-3,39(0,83)	103,49(27,94)
Алдан	0,27(0,10)	-1,14(0,89)	29,16(26,80)
Кандалакша	0,08(0,13)	-1,64(1,10)	53,71(35,79)
Верхоянск	-0,013(0,12)	-2,77(1,01)	64,46(30,53)
Архангельск	0,11(0,12)	-2,77(1,00)	103,22(36,79)
Курск	-0,04(0,12)	-3,16(0,87)	91,15(29,62)
Вологда	-0,11(0,12)	-4,30 (1,07)	136,34(36,28)
Магадан	-0,04(0,11)	-2,00(0,90)	58,74(29,75)
Чокурдах	-0,07(0,12)	-2,016(1,07)	48,76(30,73)
Волгоград	-0,05(0,13)	-3,03(0,84)	92,83(29,85)

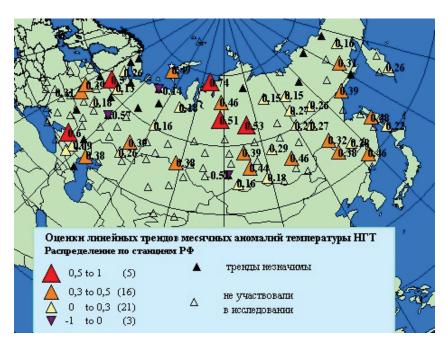


Рис. 3. Карта оценок линейных трендов месячных аномалий температуры НГТ для станций территории РФ

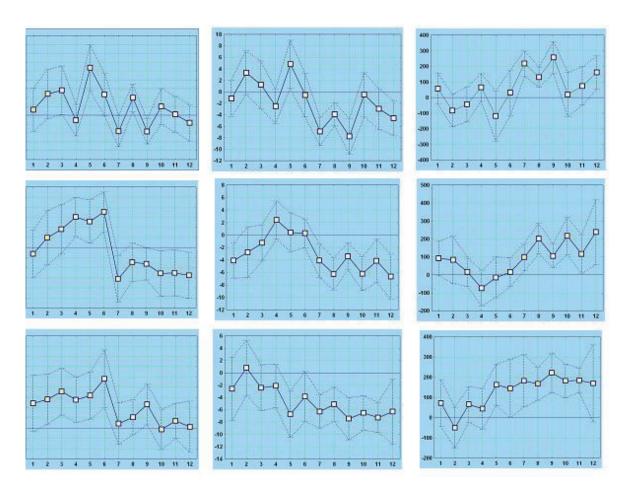


Рис. 4. Годовой ход линейных трендов температуры (град.С/10 лет)(слева), давления (гПа/10 лет) (в центре) и геопотенциальной высоты (ГПМ/10 лет)(справа) для станций Долгопрудная (верхний ряд), Волгоград (средний ряд) и Охотск (нижний ряд).

Также, считается целесообразной подготовка справочника с учетом самых последних данных.

Дальнейшие исследования планируется проводить на основе массивов радиозондовых данных CARDS, IGRA. Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ 07-05-00264а.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Авиационно-климатический атлас-справочник СССР М.: НИИАК, 1969, вып.5.
- 2. Маховер З.М. Климатология тропопаузы. Л., Гидрометеоиздат, 1983.
- 3. Маховер З.М. Некоторые особенности характеристик тропопаузы.- Труды НИИАК, 1967, вып.38, с. 103-130.
- 4. Kishore, P., S.P. Namboothiri, K. Igarashi, J.H. Jiang, C.O. Ao, and L.J. Romans. Climatological characteristics of the tropopause parameters derived from GPS/CHAMP and GPS/SAC-C measurements. J. Geophys. Res., 2006. V.111.
- 5. Randel W.J., Wu F., Rios W. R. Thermal variability of the tropical tropopause region derived from GPS/MET observations. J. Geophys. Res., 2003. P. 7/1-7/12.

- 6. Santer B.D. et al. Contributions of anthropogenic and natural forcing to recent tropopause height changes. Science, 2003.V.301. № 5632, P. 479-483.
- 7. Santer B.D. et al. Identification of anthropogenic climate change using a second-generation reanalysis J. Geophys. Res., 2004. V.109.
- 8. Santer B.D. et al. Tropopause Height Becomes Another Climate-Change "Fingerprint". Science & Technology. Review, March 2004. <a href="https://www.llnl.gov/str/March04/Santer.html">https://www.llnl.gov/str/March04/Santer.html</a>
- 9. Sausen, R., Santer B. D. Use of changes in tropopause height to detect human influences on climate. Meteorolog. Z., 2003. № 12, P. 131-136.

# ЭПИЗОДЫ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РМ10 В ВОЗДУХЕ МОСКВЫ

Кузнецова И. Н.,  $^{1}$  Артамонова А.  $A^{1}$ , Нахаев М. И $^{1}$ , Лезина Е.  $A^{2}$ 

 $^{1}$  ГУ Гидрометцентр России, г. Москва  $^{2}$  ГПУ Мосэкомониторинг, г. Москва

#### Введение

В последние десятилетия отмечается усиление обеспокоенности в связи с возрастающим загрязнением воздуха атмосферным аэрозолем или твердыми частицами. В первую очередь, это связано с вредным воздействием взвешенных частиц на здоровье человека. Для контроля за качеством воздуха Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) предусмотрен норматив среднесуточного содержания  $PM_{10}$  в приземном воздухе, который составляет 50 мкг м<sup>-3</sup>[2].

В работе [1] были представлены результаты анализа характеристик вариаций аэрозоля ( $PM_{10}$ ) на станциях Москвы в 2004 году, полученные по измерениям прибором ДАСТ.

В данной статье рассматриваются особенности мелкодисперсного аэрозоля ( $PM_{10}$ ) в приземном воздухе Москвы летом 2007 года. Использованы измерения  $PM_{10}$  точным прибором TEOM на автоматизированных станциях контроля за загрязнением атмосферы ГПУ «Мосэкомониторинг» [3]. Для анализа привлечены данные мониторинга четырех городских станций Москвы: Марьинский парк, МГУ, Косино, Останкино, и одной станции на удалении примерно в 40 км на северо-западе от Москвы в г. Зеленоград.

# Особенности пространственной изменчивости среднесуточных концентраций РМ<sub>10</sub>

Анализ среднесуточных концентраций  $PM_{10}$  летом 2007 г показал, что они имеют высокую временную изменчивость и значительно различаются на территории города, отражая влияние местных факторов (таблица 1).

Наибольшие уровни  $PM_{10}$  наблюдаются на станциях Косино и Марьинский парк. Самые низкие концентрации - в Зеленограде, что объясняются его удаленным от города местоположением. Самые низкие значения концентраций  $PM_{10}$  среди городских станций отмечались на станции МГУ в тоже время они выше, чем в Зеленограде.

Наибольшее содержание  $PM_{10}$  летом 2007 г. наблюдалось на станциях, расположенных в восточном секторе Москвы (таблица 1), отражая тем самым влияние не только местных источников, но и подветренное положение относительно преобладающего переноса воздушных масс.

Как следует из данных таблицы 1, среднесуточные величины превышают стандарт BO3 в 1,5-2 раза. Средние за лето концентрации  $PM_{10}$  были ниже стандарта BO3, но в августе на двух станциях в среднем за месяц концентрации оказались выше  $\Pi J K$  с.с.

	Сре	днесуточ	ное значе	ние	Максим	альное	Максимальное		
Станции	июнь	июль	август	лето	среднесу значение	•	разовое значение за лето		
	мкг м-3	мкг м-3	мкг м-3	мкг м-3	мкг м <sup>-3</sup>	дата	мкг м <sup>-3</sup>	дата	
Останкино (инфраструктура)	35,0	30,4	43,4	34,0	80,9	16.08.07	175	21.08.07	
Марьинский парк (промышленная зона)	36,1	27,2	51,7	38,0	97.7	23.08.07	276	23.08.07	
Косино (промышленная зона)	36,4	33,9	55,8	41,9	123	23.08.07	319	23.08.07	
МГУ (парковая зона)	27,0	26,1	39,4	30,8	79,1	23.08.07	249	06.07.07	
Зеленоград (пригород)	20,4	21,3	30,3	24,0	68.3	16.08.07	127	15.08.07	

# Эпизоды высоких концентраций РМ<sub>10</sub>.

В летний сезон 2007 года в Московском регионе неоднократно формировались эпизоды высокого содержания  $PM_{10}$  в приземном воздухе, когда среднесуточные концентрации превышали стандарт BO3. В таблице 2 приводятся данные о таких эпизодах.

Таблица 2 Эпизоды высоких среднесуточных концентраций  $PM_{10}$  (B3) в московском мегаполисе

П	Ветер 925 гПа		Концентрация РМ <sub>10</sub> (мкг м <sup>-3</sup> )								
дата	Направ- ление	Скорость	Косино	Марьинский парк	МГУ	Останкино	Зеленоград				
1.06	270	7	59,3	42,0	45,6	51,2	29,7				
4.06	290	10	50,6	55,3	32,5	45,2	27,2				
5.07	300	5	42,1	37,1	31,7	51,0	24,0				
6.07	160	7	51,9	45,3	70,1	55,3	53,6				
12.07	280	5	85,8	50,8	36,1	42,8	31,5				
13.07	140	10	69,4	54,3	42,6	50,7	51,1				
23.07	360	5	53,2	38,6	29,3	38,3	16,9				
24.07	180	2	63,1	42,6	48,5	47,6	44,3				
1.08	300	5	53,2	34,9	26,0	35,6	22,2				
10.08	130	5	74,7	50,3	40,0	39,0	32,1				
11.08	200	5	81,8	72,6	44,0	50,6	32,4				
12.08	200	3	79,3	72,7	38,3	58,1	46,4				
13.08	180	5	87,6	81,8	50,3	66,4	54,0				
14.08	140	7	88,4	88,7	55,4	66,0	59,3				
15.08	150	10	73,2	72,1	52,8	64,0	68,3				
16.08	180	7	96,6	83,6	59,3	80,9	65,4				
17.08	180	7	99,0	87,9	66,5	79,3	47,4				
18.08	180	7	79,4	61,4	54,3	58,6	31,7				
21.08	150	7	87,9	89,0	69,2	74,4	53,2				
22.08	170	7	101,0	87,6	66,5	68,0	50,1				
23.08	190	5	123,0	97,7	79,1	78,9	37,9				
24.08	230	5	61,4	64,2	68,0	67,9	35,1				

Самые продолжительные эпизоды наблюдались в августе, в июле имело место три эпизода продолжительностью не менее двух суток (рис. 1). Особенностью кратковременных периодов является превышение  $PM_{10}$  ПДКс.с. на 1 - 2 станциях при этом концентрации не достигают величин более 60 мкг/м<sup>3</sup>. Во время продолжительных эпизодов (август) концентрации  $PM_{10}$  значительно превышают 70 мкг/м<sup>3</sup>.



Рис. 1. Временной ход среднесуточных концентраций  $PM_{10}$  (1 июня – 30 августа).

Чаще всего в июне и июле увеличение концентраций  $PM_{10}$  наблюдается в ночные и утренние часы. На рис. 2 показан пример изменений  $PM_{10}$  на городских станциях при неблагоприятных условиях для рассеивания ночью и благоприятных — днем. Видно, что наблюдается значительное повышение концентраций  $PM_{10}$  в ночное и утреннее время, а днем благодаря активному перемешиванию воздух очищается от мелкодисперсного аэрозоля и в суточном ходе образуется главный минимум концентраций  $PM_{10}$ .

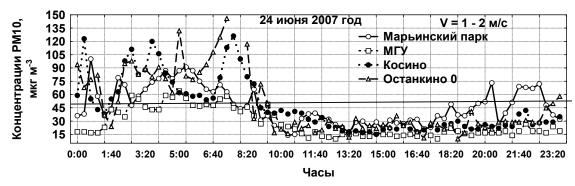


Рис. 2 . Суточный ход концентраций  $PM_{10}$  на станциях Москвы 24 июня 2007 года.

Другим фактором очищения воздуха является смена воздушной массы. На рис. 3 представлены данные наблюдений в одном из эпизодов высоких концентраций  $PM_{10}$  12 – 13 июля. На верхнем рисунке нормальный суточный ход температуры 12 июля и его нарушения 13 июля, вызванное прохождением холодного фронта в 17-18 часов. На нижнем рисунке штриховкой показана зона прохождения холодного фронта.

Следует отметить, что в зоне фронта наблюдаются резкие скачки концентрации  $PM_{10}$ . По мере прохождения фронта меняется воздушная масса, городские аэрозоли выносятся из города и концентрации  $PM_{10}$  резко убывают.

В этом эпизоде примечательным является то, что на станции в Зеленограде зафиксирован Московский шлейф аэрозолей ночью с 21.00 часа 12 июня по 03.00 часов 13 июля: при юго-восточных ветрах в Зеленограде  $PM_{10}$  оказался выше, чем в МГУ и Останкино.

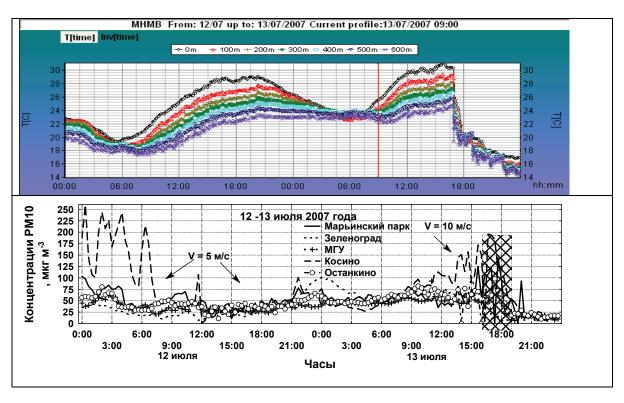


Рис. 3. Суточный ход температуры в слое 0-600 метров по данным МТП5 и концентрация  $PM_{10}$  на станциях московского мегаполиса 12-13 июля 2007 года.

В августе формированию продолжительных эпизодов повышенного содержания  $PM_{10}$  способствовали не только локальные источники  $PM_{10}$ , но перенос продуктов горения из районов природных пожаров Московской области и прилегающих регионов. Концентрации  $PM_{10}$  на всех наблюдаемых пунктах многократно превысили норматив BO3, а в Косино и Марьинском парке среднесуточные концентрации  $PM_{10}$  превышали почти в 2 раза (рис. 1).

В эпизодах, формируемых с участием дальнего переноса аэрозолей, часто наблюдается аномальный суточный ход  $PM_{10}$  — на некоторых станциях максимальные концентрации наблюдаются не в ночное, а дневное время.

В качестве иллюстрации аномального суточного хода на рис. 4 приводится изменения  $PM_{10}$  16 августа. Видно, что в околополуденное время на многих станциях наблюдается суточный максимум, что могло быть связано с поступлением загрязнений из верхней части пограничного слоя.

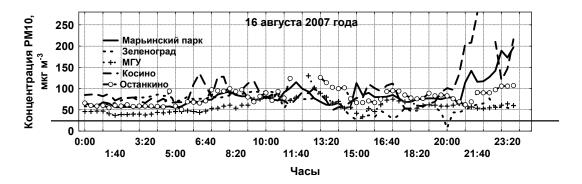


Рис. 4. Суточный ход концентраций РМ<sub>10</sub> 16 августа 2007 года.

#### Вывол

В теплый сезон в Московском регионе содержание  $PM_{10}$  в приземном воздухе может неоднократно превышать стандарт BO3 при неблагоприятных для рассеивания метеорологических условиях или при дальнем переносе примесей.

Авторы выражают благодарность Департаменту природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, сотрудникам ГПУ «Мосэкомониторинг» за предоставление данных наблюдений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 08-05-13545-офи-ц 08-05-00969-а, 09-05-10003-к).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Горчаков Г.И., Аношин Б.А., Семутникова Е.Г. Статистический анализ вариаций массовой концентрации грубодисперсного аэрозоля в г. Москве. Оптика атмосферы и океана. 2007. Том 7;№ 6 . С.501-505
- 2. Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твердых частиц, озона, двуокиси азота и двуокиси серы. Глобальные обновленные данные. 2005 год. Всемирная организация здравоохранения, Женева, 2006. С.27
- 3. www.mosecom.ru

# <sup>210</sup>РВ И ПАРЫ РАДИОНУКЛИДОВ ДЛЯ ДАТИРОВКИ СЛОЕВ ОТЛОЖЕНИЙ

# Кузовкин В. В., Жукова О. М.

ГУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, г. Москва

#### Введение

Определение уровней загрязнения в прошлом является в настоящее время социально востребованным делом, позволяющим уточнить дозовые нагрузки на население и экосистемы. Обоснованием при таких оценках может служить исследование профилей вертикального распределения некоторых радионуклидов в местах с малым антропогенным влиянием. Такие участки можно попытаться найти, исследуя донные грунты в замкнутых водоемах. Задачей являлась ознакомление с методом оценки хронологии донных отложений для ретроспективного восстановления радиационной обстановки, сложившейся в данном месте.

# Предпосылки исследования

На Русской равнине  $^{137}$ Cs появился в результате глобальных выпадений после атмосферных ядерных испытаний, в основном, конца 50-х — начала и середины 60-х годов. Уменьшение активности за счет радиоактивного распада компенсировалось выпадениями от атмосферных взрывов Франции и Китая, не присоединившихся к мораторию 1962 г. на атмосферные ядерные испытания и продолжавших производить такие взрывы. Поэтому считается [1], что до начала 80-х гг. уровни глобального загрязнения были стабильны. Соотношение в глобальных выпадениях  $^{90}$ Sr/ $^{137}$ Cs = 0,63 [8],  $^{137}$ Cs/ $^{239+240}$ Pu = 0,021 [2].

В период с 1980 по 1986 гг. уровни глобальных выпадений снижались в соответствии с радиоактивным распадом (период полураспада 30 лет). К этим выпадениям в 1986 г. добавились следы от аварии на Чернобыльской АЭС [1]. Поскольку в

чернобыльских выпадениях  $^{90}$ Sr и трансурановые элементы выступали как тугоплавкие (нелетучие), то отношения  $^{90}$ Sr/ $^{137}$ Cs в них (для расстояний дальше 200 км от ЧАЭС) на порядок ниже, чем в глобальных, и уменьшаются с расстоянием от ЧАЭС ( $^{90}$ Sr/ $^{137}$ Cs  $\sim$  0,01-0,02) [3, 4]. Отношения  $^{239+240}$  Pu/ $^{137}$ Cs в чернобыльских выпадениях (далее 200 км от ЧАЭС) ниже на 2 порядка, чем в глобальных ( $^{239+240}$ Pu/ $^{137}$ Cs < 0,00025) [5].

# Возможности использования <sup>210</sup>Рb для датировки отложений

<sup>210</sup>Pb широко используется в качестве метки при исследовании эрозионно-аккумулятивных процессов. Использование <sup>210</sup>Pb для количественной оценки темпов почвенной эрозии на обрабатываемых землях описано в [4, 6], где отмечается, что поступление <sup>210</sup>Pb из атмосферы можно рассматривать как квазипостоянный процесс. Это делает возможным оценить среднемноголетние темпы перераспределения почвы и наносов за достаточно большой интервал времени (десятки лет).

Принципы использования <sup>210</sup>Pb для датировки отложений основываются на том, что он является природным радионуклидом, продуктом цепочки <sup>238</sup>U, с периодом полураспада 22,26 лет. Присутствующий в цепочке <sup>226</sup>Ra распадается с выделением инертного газа <sup>222</sup>Rn. Он попадает в атмосферу, где распадается с образованием <sup>210</sup>Pb <sub>атм</sub>, который оказывается на поверхности почвы в составе аэрозольных выпадений. Таким образом, в профиле распределения <sup>210</sup>Pb в почве можно выделить атмосферную составляющую и терригенную составляющую, произошедшую от <sup>226</sup>Ra, не покидавшего почву. Кроме того, важным для датировки отложений свойством <sup>210</sup>Pb является то, что он чрезвычайно слабый мигрант [7].

Особенности определения <sup>210</sup>Pb и рассмотрение возможности его использования в

Особенности определения <sup>210</sup>Pb и рассмотрение возможности его использования в качестве метки природных процессов рассмотрены в [8, 9]. Содержание атмосферного <sup>210</sup>Pb в образцах почвы можно подсчитать посредством измерения общего <sup>210</sup>Pb и <sup>226</sup>Ra и последующего вычитания терригенного компонента <sup>210</sup>Pb, связанного с <sup>226</sup>Ra. Измерения на рентгеновском спектрометре позволяют определить общее количество <sup>210</sup>Pb. <sup>226</sup>Ra определяется косвенно, посредством измерения на гамма-спектрометре промежуточного короткоживущего радионуклида <sup>214</sup>Pb (или <sup>214</sup>Bi). Чтобы образовалось радиационное равновесие <sup>214</sup>Pb (или <sup>214</sup>Bi) с <sup>226</sup>Ra, пробу следует выдержать в герметичном состоянии не менее 3-х недель. Так как промежуточные радионуклиды имеют более короткие периоды полураспада, а количество <sup>222</sup>Rn, покидающего почву квазипостоянно, то количество терригенного <sup>210</sup>Pb образует зависимость от количества долгоживущего <sup>226</sup>Ra (период полураспада 1620 лет).

Для датировки слоя нами использовалась модель постоянной скорости поступления атмосферного  $^{210}$ Pb. Концентрация атмосферного  $^{210}$ Pb в слое изменяется со временем по формуле:

$$A(t) = A(0) \cdot e^{-kt} \tag{1}$$

где A(0) — удельная активность атмосферного <sup>210</sup>Pb в верхнем слое донных отложений, t — время, k= $0,693/T_{1/2}$ . Датировка слоя донных отложений на глубине х определяется формулой:

$$t = \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{A(0)}{A(t)} \tag{2}$$

Для вычленения атмосферной составляющей  $^{210}$ Pb также используется графический подход. Экспоненциальное снижение  $^{210}$ Pb $_{\rm arm.}$  с глубиной хорошо отделяется в профиле от постоянного количества терригенного  $^{210}$ Pb. Зная период полураспада  $^{210}$ Pb, можно по профилю  $^{210}$ Pb $_{\rm arm.}$  датировать слои почвы или отложений.

Результаты экспериментального изучения содержания <sup>137</sup>Cs и <sup>210</sup>Pb в донных отложениях. Обсуждение результатов

В 2005 г. послойный отбор проб в акватории пруда Тимирязевского дендропарка в Москве проводился в двух точках, расположенных в верхней части пруда. Отобранные колонки разрезались на сантиметровые слои до глубины 40 см с целью получения детальных эпюр распределения  $^{210}$ Pb<sub>атм</sub> по глубине. В марте 2006 г. отбор проводился в центральной части пруда со льда.

Измерения образцов проводились в 2006 г. На рис.1 показаны распределения <sup>137</sup>Сs по глубине для одного из разрезов донного грунта в пруду Тимирязевского парка и для одного из разрезов в пруду д. Подхожее.

По данным о глубинном распределении <sup>210</sup>Pb определено в обоих случаях (рис.2), что осадконакопление оценивается в 0,3-0,4 см/год. Удельная активность <sup>137</sup>Cs увеличивается с глубиной. Первый максимум в донных отложениях Тимирязевского пруда наблюдается на глубине 7 см, пруда в д. Подхожее – 8 см. Он соответствует 1986 году – году выпадений после аварии на Чернобыльской АЭС.

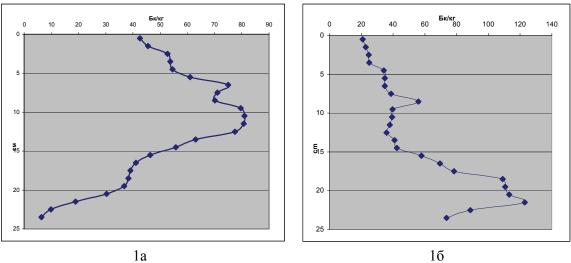


Рис.1. Вертикальное распределение <sup>137</sup>Cs в донных отложениях а) Тимирязевского пруда, Москва, 2005; б) пруда в д.Подхожее, Серебрянопрудский район Московской обл., 2006

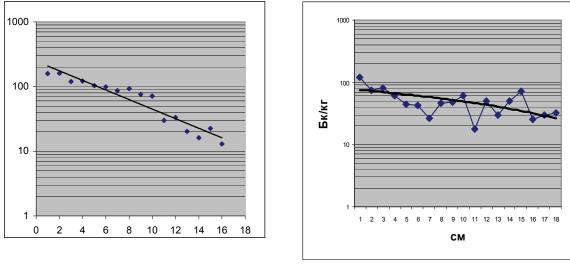


Рис.2. Экспоненциальная аппроксимация вертикального распределения атмосферного  $^{210}$ Pb: а) Тимирязевский пруд, Москва;

б) пруд в д.Подхожее, Серебрянопрудский район Московской обл.

Время в 42 года, прошедшее со времени максимума глобальных выпадений, при той же скорости отложений, отвечает за слой на глубине 15 см. Мы же наблюдаем второй максимум загрязнения на близких глубинах — 11-13 см в донных отложениях Тимирязевского пруда в Москве и 17-22 см в донных отложениях пруда в д. Подхожее на юге Московской области. Отличия в точности датировки пика. Отражающего глобальные выпадения связано: а) с отдаленностью события, б) с неравномерностью осадконакопления в прудах по времени, что связано с экономически нестабильным состоянием хозяйства в стране во 2-ой половине XX века.

# Идентификация событий по радионуклидному составу датированных слоев донных отложений

Часть проб с глубин, датированных нами как отвечающие за чернобыльские и глобальные выпадения, были проанализированы на содержание  $^{90}$ Sr и  $^{239+240}$ Pu. Для глобальных выпадений характерно отношение  $^{90}$ Sr/ $^{137}$ Cs=0,63,  $^{239+240}$ Pu/ $^{137}$ Cs = 0,021. С учетом того, что радионуклиды в паре  $^{239+240}$ Pu и  $^{137}$ Cs имеют сильно различающиеся периоды полураспада, то в 2006 г. это отношение должно быть равно  $^{239+240}$ Pu/ $^{137}$ Cs = 0,055. Полученные для глубин 17-20 см отношения  $^{90}$ Sr/ $^{137}$ Cs=0,27-0,31, а  $^{239+240}$ Pu/ $^{137}$ Cs = 0,03 можно считать подтверждающими глобальное происхождение выпадений. Полученные отношения близки к ожидаемым.

Для чернобыльских выпадений существуют характерные отношения пар радионуклидов:  $^{90}\mathrm{Sr}/^{137}\mathrm{Cs} = 0,01\text{-}0,02$ ;  $^{239+240}\mathrm{Pu}/^{137}\mathrm{Cs} = 0,00025$ . Для расстояния Москвы и Московской области от ЧАЭС эти отношения могут оказаться еще ниже. В чернобыльских выпадениях на расстояниях более 100-200 км от места аварии были обогащены радиоцезием, а стронций и трансураны при этой аварии вели себя как тугоплавкие нелетучие элементы. Отношения, полученные нами в слое 10-11 см  $^{90}\mathrm{Sr}/^{137}\mathrm{Cs} = 0,0065$ ;  $^{239+240}\mathrm{Pu}/^{137}\mathrm{Cs} = 0,00041$ , что также близко к ожидаемым.

# Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем

Соединение залачи датировки донных отложений илентификацией радиационного события, произошедшего в ядерную эру, в мировой практике пока широко не разрабатывалось. Нам удалось обнаружить статью американских ученых [7]. Авторы провели датировки отложений в водоеме на р.Петакамскат-ривер, в штате Вашингтон, и так же, как и мы, определили скорость осадконакопления в 3-4 мм/год, а на глубине 7 см обнаружили слабый пик <sup>137</sup>Cs (5 Бк/кг), связанный авторами с Чернобылем. Внизу колонки на глубине 19 см ими показан пик <sup>137</sup>Cs (в 5 раз превышающий чернобыльский), определяемый авторами как следствие глобальных выпадений конца 50-х - начала 60-х гг. Проведенное американскими коллегами исследование имеет многие аналогии с нашим, и свидетельствует о том, что полученные нами результаты отражают современный аппаратурно-методический уровень, принятый в США. Основным отличием являются сложные и дорогостоящие пробоотборные устройства.

В работе радиохимиков из Франции [8] изучалось содержание радионуклидов в донных отложениях пруда на р.Бореон в Альпах, выбор объекта тщательно обоснован, в нем выделены зоны с различающимся поступлением материала с горного водосбора. Авторы [8], не владея техникой измерений  $^{210}$ Pb, имеют возможности тонких определений трансурановых радионуклидов и  $^{90}$ Sr в отложениях с изучением их соотношений не только в отдельных пробах по глубине, но во всем профиле. Полученные ими соотношения  $^{90}$ Sr/ $^{137}$ Cs=0,02 полностью подтверждают наличие чернобыльских выпадений в альпийском регионе и расположение выпадений от этой аварии в донных отложениях изучаемого ими озера на глубине 6 см в их случае. Максимум на глубинах 10-13 см они так же, как и мы, относят к периоду глобальных выпадений.

#### Выволы

Итак, результатами исследования являются следующие:

- 1. Был изучен аппаратурно-методический комплекс идентификации ретроспективных событий ядерной эры по датированным донным отложениям, включая его опробование.
- 2. Экспериментально продемонстрирована работа метода с получением выводов, проверенных разными способами. При осадконакоплении 3-4 мм/год пик чернобыльского загрязнения находится на глубине 7 и 8 см, глобального 11-13 и 17-22 см, что установлено в итоге результатов обследования 2-х малых водоемов.
- 3. Идентификация событий, отраженных двумя пиками повышенного содержания  $^{137}$ Cs. подтверждена полученными соотношениями  $^{90}$ Sr/ $^{137}$ Cs и  $^{239+240}$ Pu/ $^{137}$ Cs.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Израэль Ю.А., Квасникова Е.В., Назаров И.М., Стукин Е.Д. Об Атласе радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины. Новая информация для комплексной характеристики современного состояния окружающей среды. Известия РАН (серия географическая), №1, 2000, с.5-16.
- 2. Myasoedov B.F., Goryachenkova T.A. Forms of occurrence of plutonium in soils. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 1991, v.203 (1), p.153-157.
- 3. Stukin E.D. Characteristics of Primary and Secondary Caesium-Radionuclide Contamination of the Countryside Following the Chernobyl NPP Accident. In: Proceedings of Seminar on Comparative Assessment of the Environmental Impact of Radionuclides Released during Three Major Nuclear Accidents: Kishtym, Windscale, Chernobyl. Luxembourg, 1-5 October 1990. Commission of the European Communities, RADIATION PROTECTION-53, EUR 13574, 1991, Vol.1, pp.255-302.
- 4. Walling, D.E. He. Q. Using fallout lead-210 measurements to estimate soil erosion on cultivated land. // Soil Science Society of America J. 19996, V. 63, №. 5, p.1404-1412
- 5. Стукин Е.Д., Квасникова Е.В., Зиборов А.М., Крюков Е.В., Левшин Е.Б., Федоткин А.Ф. Результаты исследований радионуклидного загрязнения 60-км зоны ЧАЭС с использованием аэрогамма-спектрометрии и реперной сети планшетов. Труды Международной конференции "Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях", 24-26 апреля 2000 г., Москва. том 1, Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2000, с.349-360.
- 6. He, Q. and Walling, D.E. The distribution of fallout 137Cs and 210Pb in undisturbed and cultivated soils // Appl. Radiat. Isotopes. 1997. V. 48. P. 677-690.
- 7. Lima A.L., Hubeny J.B.,Reddy C.M., Ring J.W., Hughen K.A. & Eglinton T.I. High-resolution historical records from Pettaquamscutt River basin sediments: 210Pb and varve chropnologies validate record of 137Cs released by the Chernobyl accident. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol.69, N7, Pp1803-1812, 2005.
- 8. Robbins R.A. Geochemical and geophysical application of radioactive lead. The biogeochemistry of lead in the environment. Ed. J.O.Nriagu. Elsevier, Amsterdam. 1978. p.286-383.
- 9. Маркелов М.В., Голосов В.Н., Стукин Е.Д. Возможности использования 210Pb и 137Cs в качестве радиоактивных метокдля оценки темпов эрозионно-аккумулятивных процессов. Метеорология и гидрология, №4, 2005, с.66-84

# ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕНОЛА И ХЛОРФЕНОЛОВ В ВОДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕАКЦИЙ БРОМИРОВАНИЯ И АЦЕТИЛИРОВАНИЯ

# Левшин Д. Г., Халиков И. С., Запевалов М. А.

Институт проблем мониторинга ГУ Научно-производственное объединение «Тайфун», г. Обнинск

#### Ввеление

Производные фенолов широко используются практически во всех областях промышленности: в производстве лаков и красок, синтетических смол, пластификаторов, поверхностно активных и дубильных веществ, ядохимикатов, стабилизаторов, антисептиков, что является причиной их более высокого фонового содержания в окружающей среде по сравнению с другими наиболее распространенными классами приоритетных органических загрязнителей. Хлорфенолы могут образоваться также в процессе водоподготовки при хлорировании воды, недостаточно очищенной от фенолов [6, 7, 9, 11]. Определение фенола и хлорфенолов может помочь при оценке потенциальной диоксиновой опасности объектов природной среды, так как они являются прямыми предшественниками чрезвычайно опасных ксенобиотиков полихлорированных дибензо-пдиоксинов.

Токсичность фенолов зависит как от природы заместителей, алкильных или хлорированных, так и от их количества. Увеличение количества галогенов в ядре, как правило, уменьшает токсичность хлорфенолов (Таблица 1), но повышает их персистентность в объектах природной среды и способность к кумуляции в живых организмах [1, 3, 4]. Выраженная мутагенность хлорированных фенолов для некоторых микроорганизмов предполагает наличие канцерогенных свойств [8].

Обычно в реальных пробах природной воды содержание хлорированных фенолов составляет менее  $1~{\rm mkr/n},$  поэтому необходимы методики, позволяющие достоверно идентифицировать и определять их при концентрациях  $0,1~{\rm mkr/n}$  и меньше.

Для определения содержания суммы фенолов в воде применяют отгонку с паром с фотометрическим окончанием, позволяющую определить так называемый «фенольный индекс» - суммарную концентрацию летучих фенолов, образующих окрашенные соединения с 4-аминоантипирином [10]. Однако данный способ неселективен и малоинформативен, так как не дает информации об индивидуальных соединениях. Информация о содержании индивидуальных фенолов может быть получена только при использовании хроматографических методов.

Следовые количества хлорфенолов в воде определяют, в основном, газохроматографическими методами в виде различных производных [7]. Основной целью химической модификации является снижение пределов обнаружения до уровня предельно допустимых и более низких концентраций.

Одним из наиболее простых и экспрессных методов получения производных фенолов, широко распространенным в аналитической практике, является ацетилирование хлорфенолов уксусным ангидридом [5], однако чувствительность детекторов к самому ацетату фенола довольно низка.

Для одновременного определения микроколичеств фенола и его хлорированных производных нами предлагается подход, основанный на эффективном использовании их реакционной способности, а именно бромировании и последующем ацетилировании полученных галогенфенолов.

## Экспериментальная часть

Для приготовления стандартных растворов применяли стандарты фенола, 2-хлорфенола (2- $X\Phi$ ); 2,4-дихлорфенола (2,4- $ZX\Phi$ ); 2,4,6-трихлофенола (2,4,6- $ZX\Phi$ ) и пентахлорфенола ( $ZX\Phi$ ) производства фирмы «SUPELKO», США. При проведении анализов использовали реактивы и растворители квалификации не ниже ч.д.а.

Анализ экстрактов выполняли на газовом хроматографе «Кристалл 2000М» с детектором электронного захвата, совмещенным с компьютерной системой сбора и обработки хроматографических данных «Хроматэк 2.5». Разделение проводили на капиллярной колонке HP-17 ( $10 \text{ M} \times 0,53 \text{ MM}$ ; толщина пленки 2MKM), температура детектора и испарителя составляли  $270^{\circ}\text{C}$  и  $250^{\circ}\text{C}$ , температура термостата колонки  $70^{\circ}\text{C}$  (3 минуты), затем программирование  $20^{\circ}\text{C}$  /мин до  $260^{\circ}\text{C}$ , скорость газа-носителя (азота) через колонку составляла  $3,0 \text{ см}^3$ /мин, деление потока1:4,7.

Эксперименты по подбору оптимальных условий проведения реакций бромирования и ацетилирования проводили на искусственных смесях фенола и хлорфенолов с разными концентрациями (от 2 до 10 мкг/л). Смесь фенолов в ацетоне вносили в воду (95 мл), подкисляли 0,6 мл HCl (1:1) и бромировали добавлением определенного количества (от 1 до 5 мл) 0,1 М бромид-броматного раствора. Реакцию бромирования останавливали добавлением 1 мл раствора (2,5%) сульфата гидразина. Затем к реакционной смеси добавляли определенные объемы 30 %-ного раствора карбоната калия, уксусного ангидрида и 3 мл гексана. Ацетилировали при встряхивании в течение 30 минут при комнатной температуре (до прекращения выделения углекислого газа). С помощью микрошприца отбирали по 1 мкл экстракта и проводили газохроматографический анализ.

Времена удерживания пиков ацетилированных производных после бромирования 2,4,6-ТХФ; 2,4-ДХФ; 2-ХФ; фенола и ПХФ соответственно составляли около 12,1; 13,1; 14,2; 15,2; 15,5 мин.

# Результаты и их обсуждение

Фенолы, хлорфенолы и дихлорфенолы бромируются в водной фазе в положения 2, 4 и 6, не занятые атомом хлора или другой группой. Таким образом, фенол образует 2,4,6-трибромфенол, а моно - и дихлорфенолы соответственно ди - и монобромпроизводные:

$$C_6H_xCl_y + Br_2 \Rightarrow C_6H_2Cl_yBr_z - OH$$
  
 $x = 3 - 5; y = 0 - 2 \Rightarrow y = 0 - 2; z1 - 3$   
 $x + y = 5 \Rightarrow y + z = 3$ 

При химической модификации фенола, хлорфенолов и дихлорфенолов в их бромпроизводные выравниваются значения относительных мольных откликов с трихлорфенолом и пентахлорфенолом, что важно при одновременном газохроматографическом анализе этих соединений. Бромирование также повышает гидрофобность данных веществ, что значительно увеличивает эффективность экстракционного концентрирования производных.

Оптимизацию условий бромирования фенола и хлорфенолов проводили варьированием двух параметров: концентрации бромид-броматного раствора и времени бромирования.

Изучение влияния концентрации бромид-броматного раствора в диапазоне от 0,001 до 0,005 М на выход бромпроизводных фенолов в кислой среде (pH=2,5-3) показало, что увеличение концентрации бромид-броматного раствора в 5 раз практически не влияет на химический выход определяемых соединений.

Влияние времени бромирования на выход определяемых соединений в интервале от 1 до 20 мин при концентрации бромид-броматного раствора (0,002 M) показано на рис. 1, из которого следует, что увеличение времени бромирования от 1 до 20 мин

приводит к уменьшению аналитических сигналов 2,4,6- $TX\Phi$ ; 2,4- $ДX\Phi$  и фенола, в то же время высоты пиков 2- $X\Phi$  и  $\Pi X\Phi$  с течением времени несколько возрастают.

Для эффективного применения бромирования в аналитических целях требуется некоторый избыток брома. Это связано как с отсутствием предварительной информации о количественном составе определяемых компонентов, так и необходимостью поддержания высокой скорости реакции. При больших количествах брома и, или очень длительной реакции еще один атом брома может присоединиться к тригалогенпроизводным в пара положение с образованием хиноидного соединения 2,4,4,6-тетрагалогенциклогекса-2,5-диенона и его дальнейшего окисления.

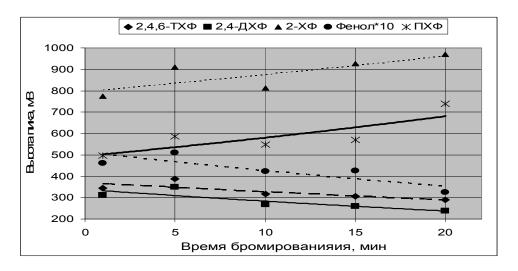


Рис. 1. Зависимость аналитических сигналов определяемых соединений от времени бромирования

Нами установлена оптимальная концентрация бромид-броматного раствора (0,002 М) и время бромирования 10 мин. За это время при такой концентрации образующегося брома реакция бромирования протекает достаточно полно, а деструкция некоторых производных не столь существенна для количественного определения фенола и хлорфенолов. Следует отметить, что чувствительность определения отдельных хлорфенолов можно повысить в несколько раз, изменяя условия бромирования.

Дериватизация уксусным ангидридом позволяет нейтрализовать активную гидроксильную группу, которая вызывает расширение и асимметрию пика, что может приводить к увеличению погрешности анализа. Ацетилированные производные хлорфенолов и бромфенолов имеют меньшую полярность и более низкие температуры кипения по сравнению с исходными галогенфенолами. Они устойчивы в газовой фазе в широком интервале рабочих температур. Было установлено, что для обеспечения максимальной степени ацетилирования достаточно 30 мин при комнатной температуре.

Оптимизацию условий ацетилирования хлорфенолов и полученных бромфенолов проводили варьирование объемов уксусного ангидрида и карбоната калия (рис. 2, 3).

Увеличение количества уксусного ангидрида от 0,3 мл до 1,0 мл практически не влияет на концентрацию, поэтому, исходя из экономии реактива, оптимальный объем установлен на уровне 0,5 мл (рис. 2).

Зависимость аналитических сигналов ацетилированных производных от концентрации карбоната калия в растворе имеет нелинейный характер (рис. 3). Нелинейная зависимость свидетельствует о наличии конкурирующих процессов, в которых участвует карбонат калия, который одновременно играет роль переносчика молекул между водной и органической фазами и регулятора рН. В качестве оптимальной для ацетилирования была выбрана концентрация карбоната калия  $0,1\,\mathrm{M}$ , которая создавалась добавлением к раствору  $2\,\mathrm{m}$  30% -ного раствора  $\mathrm{K}_2\mathrm{CO}_3$ .

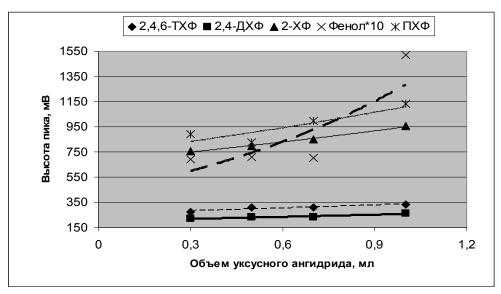


Рис. 2. Зависимость аналитических сигналов определяемых соединений от объема уксусного ангидрида

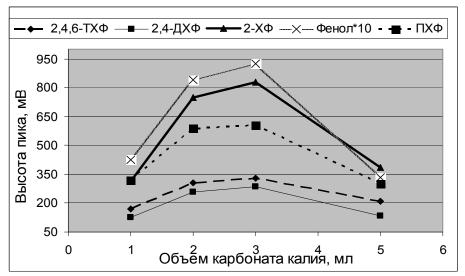


Рис. 3. Зависимость аналитических сигналов определяемых соединений от объема раствора карбоната калия

В оптимальных условиях на стандартных растворах фенола и хлорфенолов были построены градуировочные характеристики, показывающие зависимость высоты пиков индивидуальных соединений от их концентрации. Как следует из таблицы 1, они хорошо аппроксимируются уравнением линейной регрессии Y=a+bX в широком диапазоне концентраций 0,05-30 мкг/л.

Нижнее значение диапазона определяемых концентраций 2,4,6-ТХФ; 2,4-ДХФ; 2-ХФ; фенола и ПХФ составляет от 0,05 до 0,5 мкг/л. Методика обеспечивает выполнение измерений фенола и хлорфенолов с погрешностью, не превышающей 20%, при доверительной вероятности 0,95.

Благодаря высокой чувствительности и селективности предлагаемого подхода по методике можно определять фенол и хлорфенолы как в сложных по составу образцах (сточных и технологических водах), так и в объектах с предельно низким их содержанием (питьевых, поверхностных и морских проб воды).

Таблица 1 Диапазоны измеряемых концентраций и градуировочные характеристики определения фенолов в воде

T: :: := = = = = = = = = = = = = = = = =										
Вещество	Диапазон концентраций, мкг/л	Градуировочная характеристика, Y=a+bX	Коэффици ент корреляци	ПДК, мкг/л[11]						
			И							
Фенол	0,05-30	y = 259.8x + 29.9	$R^2 = 0.99$	1						
2-Хлорфенол	0,08-30	y = 310,2x - 8,4	$R^2 = 0.98$	1						
2,4-Дихлорфенол	0,1-30	y = 188,1x - 25,3	$R^2 = 0.96$	2						
2,4,6-Трихлорфенол	0,5-30	y = 45,1x - 14,5	$R^2 = 0.98$	4						
Пентахлорфенол	0,1-30	y = 263,5x - 34,8	$R^2 = 0.98$	30						

#### Выводы

Разработана методика газохроматографического определения фенола и хлорфенолов в воде с использованием реакций бромирования и ацетилирования, позволяющая проводить анализ на уровне десятых долей ПДК.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Oikari A., Nakari T. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 1982, v.28, p.226-270.
- 2. Агрономов А.Е. Избранные главы органической химии. М.: Химия, 1990, 560 с.
- 3. Белоусова М.Я., Авгуль Т.В., Сафронова Н.С. Основные свойства нормируемых в водах органических соединений. М.: Наука, 1987, 104с.
- 4. Грачев М.А., Артемова Н.Б., Барам Г.И., Надобнов С.В. Накопление хлорфенолов в рыбах водоемов предприятий целлюлозной промышленности. Доклады Академии Наук СССР, 1989, т. 309, № 2, с. 508-511
- 5. Демьянов И.И. Химические методы получения производных при хроматографическом определении фенолов. Журнал аналитической химии, т. 47, № 12 М: Наука, 1992., с. 1942-1966.
- 6. Елин Е.С., Фенольные соединения в биосфере. Новосибирск : Издательство СО РАН, 2001. 392 с.
- 7. Кириченко В.Е., Первова М.Г., Пашкевич К.И. Галогенорганические соединения в питьевой воде и методы их определения. Российский химический журнал, 2002, т.ХLVI, №4.
- 8. Козубова Л.И., Морозов С.В. Органические загрязнители питьевой воды. Аналитический обзор. Новосибирск: Издательство СО РАН, 1993, вып. 26, 167 с.
- 9. Коренман Я.И., Груздев И.В., Кондратенок Б.М., Газохроматографическое определение хлорфенолов в питьевой воде с предварительной двухстадийной химической модификацией. Химия и технология воды, 2000, т. 22, №3
- 10. Лурье Ю.Ю., Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984, 488с.
- 11. Майстренко В.Н., Клюев Н.А., Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 323с.: ил.

# РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ В БРЯНСКОМ ПОЛЕСЬЕ ЧЕРЕЗ 21 ГОД ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

# Манзон Д. А.

ГУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, г. Москва

В результате аварии на Чернобыльской АЭС наиболее загрязненной территорией в России оказалось Брянское полесье, где наблюдались зоны устойчивого превышения плотности загрязнения местности в 40 Ки/км² по <sup>137</sup>Сs, наиболее распространившемуся долгоживущему радионуклиду чернобыльского происхождения. В отдельных точках плотности загрязнения достигали 100-150 Ки/км². В течение 21 года после выпадений активность <sup>137</sup>Сs изменялась под действием радиоактивного распада, а также под действием различного рода переноса и перераспределения под действием ландшафтных, биологических и антропогенных факторов [2, 3].

Многие работы, проведенные ранее по Брянскому полесью, свидетельствуют о прочной фиксации <sup>137</sup>Cs в некоторых элементах ландшафтов, что приводит к слабому выносу радионуклида за пределы малых водосборов [4, 5]. Вертикальное распределение <sup>137</sup>Cs в почвах демонстрирует значительную фиксацию его в верхней части гумусового горизонта боровых подзолов, распространенных в полесье типичных зональных почв, в органическом веществе перегнойных горизонтов пойменных болот, на сорбционном и глеевом барьерах гидроморфных почв обширных полесских пойм. Геохимическая контрастность почв сопряженных ландшафтов полесских катен приводит к значительной вариабельности вертикальных распределений <sup>137</sup>Cs в почвах, из чего следует формирование чрезвычайно пестрой картины поля мощности дозы над их поверхностью.

#### Выбор мест отбора проб

В процессе полевых работ применялись методики, выработанные при обследованиях территорий после аварии на ЧАЭС. Однако, при этом учитывались особенности задач фиксирования влияния миграции на изменение поля загрязнения и применялись ландшафтные подходы к выбору мест для отбора проб [1].

Выбор мест основывался на методе ландшафтного профилирования, базирующегося на выделении границ сопряженных ландшафтов, участвующих в балансе вещества. В них намечаются участки смыва (эрозии), транзита и аккумуляции почвенного материала. Несколько точек было выбрано на водоразделах с заведомым отсутствием аккумуляции и минимальным смывом или его полным отсутствием.

#### Методика отбора проб почв и их лабораторного анализа

Для получения данных о плотности загрязнения почв искусственным радионуклидом  $^{137}{\rm Cs}$  были использованы методы, основанные на сочетании гаммаспектрометрии *in situ* с отбором почвенных проб с последующим их анализом в лаборатории ИГКЭ.

Метод гамма-спектрометрии *in situ* используется для исследований локальных мест загрязнения и позволяет оперативно получить большое число измерений, что необходимо для оценки неоднородности поля загрязнения. Полевые измерения содержания  $^{137}$ Cs в ландшафте проводились при помощи портативных гамма-спектрометров КОРАД и ORTEC.

Пересчет данных о поверхностной плотности загрязнения гамма-излучающим радионуклидом в величину его запаса в почве является основной проблемой измерений *in situ*. В связи с этим, при применении данного метода важно использовать его в ландшафте с одинаковыми условиями миграции радионуклида вглубь. При наземных измерениях и расчетах дозовых характеристик важно учитывать влияние микрорельефа почвы.

Неровности почвы могут ослаблять мощность дозы в той же мере, как и заглубление радионуклида.

Набирая большое число измерений в границах элементарного ландшафта, метод полевой гамма-спектрометрии *in situ* в сочетании с разреженным отбором проб почвы даёт возможность при осреднении этих значений и их сопоставлении с результатами анализа проб почвы, охарактеризовать загрязнение выделенного ландшафта с достаточно высокой надежностью. Эта возможность является главным достоинством сочетания метода *in situ* с методом отбора проб.

В экспедиции при отборе проб использовались три различных метода:

В опорных почвенных разрезах отбор проб почвы производился следующим образом. Делался почвенный разрез глубиной до почвообразующей породы, захватывая ее верхнюю часть. Описывались генетические почвенные горизонты, определялся вид почвы. Пробы, содержащие фрагмент почвенного горизонта размером 15х15 см отбирались, как правило, до общей глубины около 20см (почвенный слой, в котором обычно содержатся более 70 % полного запаса <sup>137</sup>Cs).

Отбор интегральных почвенных образцов проводился при помощи пробоотборника в виде стальной трубы с 5-см глубинной нарезкой, позволявшего брать пробы по слоям 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 и 20-25 см в фиксированной «геометрии».

Место для опорных почвенных разрезов выбиралось в центре элементарных ландшафтов, наиболее характерных для исследуемых территорий и закладывались таким образом, чтобы хотя бы один почвенный разрез располагался в пределах каждого изучаемого ландшафтного таксона. Отбор проб сопровождался ландшафтным описанием точек.

Отобранные образцы почв были проанализированы в лаборатории ИГКЭ на гаммаспектрометрическом комплексе фирмы "ORTEC". Таким образом, одновременное использование портативной гамма-спектрометрии *in situ* с разреженным отбором почвенных образцов, позволило охарактеризовать современные уровни загрязнения <sup>137</sup>Cs.

В качестве вспомогательных средств при измерениях на местности использовались портативные приборы для определения мощности дозы гамма-излучения - дозиметры. Измерения мощности дозы проводились как для контроля вариабельности поля загрязнения при радиационном мониторинге, так и для прикидочных оценок уровней загрязнения цезием-137. Использовались дозиметры РКСБ-104 и ДРГ-ОДТ. Определение проводилось на высоте 1м и у поверхности почвы.

# <sup>137</sup>Сs в ландшафтных катенах

Изучению динамики полей загрязнения <sup>137</sup>Cs на территориях, подверженных эрозии и смыву, внимание стало придаваться через 10 лет после аварии на ЧАЭС, когда эффекты массопереноса начали накапливаться и сделались фиксируемыми при помощи гамма-спектрометрии [3, 7].

Значительная доля распаханных угодий в Полесье приходится на плоские водораздельные поверхности. Сведение боров и распашка привели к активизации смыва супесчаных почв и ветровой эрозии. Изменчивость плотностей загрязнения <sup>137</sup>Cs сопряженных ландшафтов флювиогляциальных водосборов рассмотрено на примере площадки «Заборье».

Верхняя геоморфологическая позиция расположена на слабонаклонной, неровной поверхности палеодюнного холма в сосновом мертвопокровном бору. Бор, с незначительным присутствием мха, надежно закрепляет смыв с холма. В разрезе определен боровый подзол.

Колебания плотностей загрязнения почв (от 67 до 107 Ки/км<sup>2</sup>) значительны, что характерно для боров.

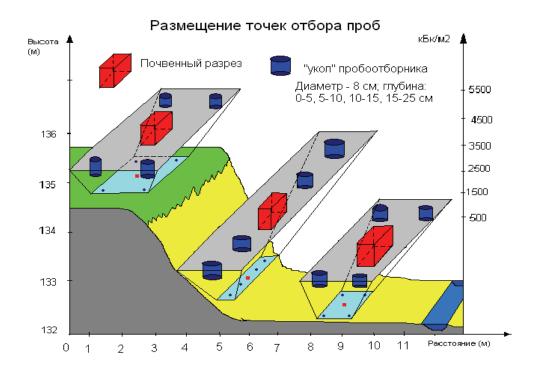


Рис.1. Образец размещения точек отбора проб почвы

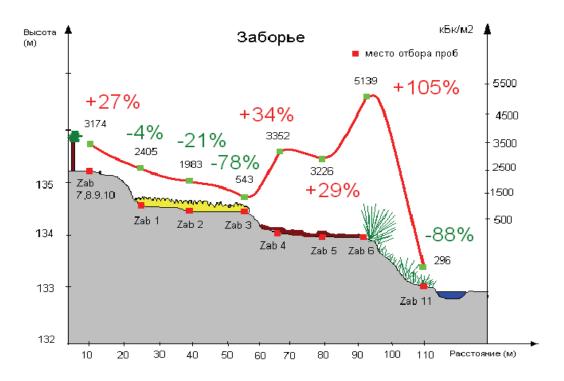


Рис.2. Измененчивость плотности загрязнения <sup>137</sup>Cs сопряженных ландшафтов площадки «Заборье», Брянская обл., Новозыбковский район. Средняя плотность загрязнения по площадке –76,5 Ки/км² Площадка «Заборье» знаменательна тем, что на ней мы имели дело с наибольшими плотностями загрязнения, измеренными в 2007 г.

Ниже точки расположены на 1-ой надпойменной террасе под густым разнотравнозлаковым лугом, в 50 м от кромки бора; под щучковым кочкарником в микропонижении со следами выпаса; вблизи склона террасы к пойме. Вертикальные распределения радионуклида приближаются к равномерному в 15 сантиметровой толще, ниже содержание <sup>137</sup>Cs уменьшается. Вероятно, почва здесь перекапывалась или перепахивалась. Идентифицирована Дерновая окультуренная смытая супесчаная почва.

Ниже по профилю точки расположены на слабонаклонной поверхности высокой поймы с аллювиальной дерново-глееватой окультуренной супесчаной почвой, распаханной под огороды (видимо, выращивался картофель). Вода с поймы отведена, в настоящее время избыточное увлажнение отсутствует. Резко повышенные значения плотности загрязнения (140 Ки/км² в слое 0-25 см) наблюдается в краевой части огорода, где наносы к реке тормозятся ивняком. Высокий запас и близкое к равномерному распределение радионуклида свидетельствуют о процессах намыва, происходившего с вышележащего огорода (механический барьер в виде напаши). Пойменные половодья и барьер, представляемый кромкой ивняка, способствуют активному накоплению почвенного материала.

## Выводы

- 1. Отмечается стабильность во времени сложившихся при выпадениях профилей на ненарушенных участках почвы.
- 2. Сравнительный анализ опробования почв позволил связать особенности вертикального распределения этого радионуклида с механическими нарушениями почв.
- 3. Доказана реальная возможность использовать сравнительный анализ вертикальных профилей загрязнения почв, определяемых по данным послойного опробования, для характеристик степени механического нарушения почв при изучении процессов эрозии и смыва.
- 4. В зонах аккумуляции установлена связь полного запаса цезия с изменениями профилей в приповерхностных горизонтах. Это подтверждает предположение о приращении запаса вследствие намывания почв с сорбированным на их частицах цезием. Глубинные части профилей, если учесть присутствие намытых слоев, не претерпевают изменений. Это свидетельствует о преобладающей роли механического переноса частиц почв временными потоками воды в миграции цезия в данном ландшафте.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивн процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС,2006,296 с.
- 2. Израэль Ю.А., Вакуловский С.М., Ветров В.А., Петров В.Н., Ровинский Ф.Я., Стукин Е.Д.. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. /Под ред. Ю.А. Израэля Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 296 с.
- 3. Израэль Ю.А., Квасникова Е.В., Назаров И.М., Стукин Е.Д. Радиационный мониторинг. В кн. Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменения. М.: Наука, 2001, с.93-155
- 4. Квасникова Е.В. Трансформация поля загрязнения почвы искусственными радионуклидами. Сб.трудов ИГКЭ Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб: Гидрометеоиздат, 2002, с.37-58.
- 5. Квасникова Е.В., Жукова О.М., Борисенко Е.Н., Самонов А.Е., Травникова И.Г., Кравцова О.С.Самоочищение почв от  $^{137}$ Сѕ в Брянском полесье под действием ландшафтных факторов. Известия РАН (серия географическая), №5, 2006.

- 6. Квасникова Е.В., Жукова О.М., Стукин Е.Д., Борисенко Е.Н., Самонов А.Е. Роль ландшафтных факторов в изменении поля радиоактивного загрязнения <sup>137</sup>Сѕ в Брянском полесье. Метеорология и гидрология, 2005, № 6, с.83-91.
- 7. Квасникова Е.В., Пегоев А.Н., Стукин Е.Д. Влияние миграции цезия-137 на его вертикальный профиль в почве аккумулятивно-денудационных ландшафтов. Атомная энергия, т.86, вып.2, фев.1999, с.134-139.

# ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОГНОЗА МЕТЕОЭЛЕМЕНТОВ ГОРОДСКОЙ ВЕРСИЕЙ НЕГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ WRF-ARW НА ПРИМЕРЕ Г.МОСКВЫ

# Набокова Е. В., Рубинштейн К. Г.

ГУ Гидрометцентр России, г. Москва

## Введение

Известно, что метеорологический режим урбанизированных территорий заметно отличается от окружения [1]. Размеры городов и их влияние на окружающую среду достигли таких масштабов, что для описания процессов, происходящих в их пределах, был создан целый класс так называемых «городских» прогностических моделей. Существует два принципиально различающихся подхода к моделированию метеорологического режима города. Первый подход - это прямое математическое моделирование с помощью решения уравнений газовой динамики и теплообмена в городском каньоне. Этот метод требует очень высокого пространственного разрешения и, как следствие, большого времени счета. Второй подход заключается в параметризации процессов в городе, представленном в виде «каменного» леса с трехмерной геометрией. Эти схемы могут включаться в мезомасштабные модели для представления в них городских процессов [2]. В последнее десятилетие был достигнут значительный прогресс в развитии схем второго типа. Две из них были включены в мезомасштабную негидростатическую модель WRF-ARW.

# Описание модели WRF-ARW и представление в ней города

Модель WRF (Weather Research and Forecasting Model) [5] может использоваться как для оперативного прогнозирования, так и для исследовательских целей. Существует две версии модели, различающиеся динамическим ядром. В данной работе использовалась версия исследовательская версия модели WRF нового поколения (the Advanced Research WRF, в дальнейшем - ARW). Модель WRF-ARW является негидростатической, региональной по территориальному масштабу; по вертикали в ней используется  $\sigma$ -система координат. В рамках модели предусмотрена возможность создавать различные комбинации параметризаций физических процессов.

В первоначальных версиях модели WRF-ARW город представлялся путем задания характерных значений параметров подстилающей поверхности для типа землепользования «город», используемых различными блоками параметризаций физических процессов. В Таблице 1 приведены значения параметров подстилающей поверхности для типа землепользования «город» и для сравнения – типа «смешанный лес».

Для более точного и физически обоснованного описания урбанизированных территорий в модель WRF были введены две параметризации: городского пограничного слоя (Urban Canopy Model, в дальнейшем - UCM) [3] и городской застройки (Building Environment Parameterization, в дальнейшем - BEP) [4]. Эти параметризации являются самостоятельными моделями, которые на определенном этапе расчетов используют значения метеорологических параметров, полученных в основной модели WRF, как

входные параметры для собственных вычислений, а затем возвращают их измененные значения обратно в основную модель.

В параметризации UCM город представлен симметричными блоками с характерной высотой (для трех типов городского землепользования); ориентация уличного каньона является задаваемой величиной. Этой параметризацией описываются эффект затенения поверхности зданиями, отражение радиации в уличном каньоне, учитывается поток антропогенного тепла. Изменение ветра с высотой описывается экспоненциальным законом. В уравнение переноса тепла включается потоки тепла от крыш, стен и дорог.

Таблица 1 Значения параметров подстилающей поверхности для категорий землепользования «город» и «смешанный лес»

«тород» и «емениния мес»								
Название параметра		Значение						
	город смешанный л							
Параметр шероховатости	0.8 м	0.5 м						
Альбедо подстилающей поверхности	15%	13%						
Лодя растительности	10%	80%						

Параметризация ВЕР основана на тех же идеях, что и параметризация UCM. Основным ее отличием является задание распределения строений по высотам внутри каждого типа городского землепользования и, соответственно, описание перераспределения потоков количества движения, тепла и влаги.

# Описание экспериментов

С моделью WRF была проведена серия экспериментов для региона г. Москвы в виде прогнозов на 48 часов в период с 1 по 7 августа 2007 г. В проведенных экспериментах в качестве начальных и граничных условий использовались анализы NCEP/NCAR с разрешением 0.5° и временным интервалом 6 часов. В таблице 2 приведены остальные характеристики экспериментов.

Таблица 2 **Характеристики экспериментов с моделью WRF-ARW** 

Сетка	120 на 100 точек
Разрешение	2 км
Количество уровней по вертикали	42
Начало прогноза	00 СГВ

Со стандартной версией WRF-ARW было проведено несколько экспериментов с различными значениями альбедо подстилающей поверхности и параметра шероховатости. В литературе встречаются разные оценки этих параметров, порой разнящиеся на несколько порядков. В связи с этим в экспериментах задавались значения альбедо и параметра шероховатости, заведомо далекие от реальных, чтобы проверить чувствительность модели к их изменению. Для альбедо эти значения составили 5% и 50%, а для шероховатости – 5 м.

Названия экспериментов обозначаются следующим образом: К - контрольный эксперимент со стандартными значениями параметров подстилающей поверхности; АЛп - эксперимент с измененным значением альбедо подстилающей поверхности в городе, п — значение альбедо в эксперименте; Ш — эксперимент с измененным значением параметра шероховатости в городе; UCM — эксперимент с моделью городского пограничного слоя; ВЕР - эксперимент с моделью городской застройки.

Результаты экспериментов сравнивались с данными наблюдений на станции Балчуг. Модельные данные интерполировались в точку с координатами этой станции. В

качестве параметров для оценки были выбраны абсолютная и систематическая ошибки прогноза, а в качестве оцениваемых величин — температура на уровне 2 м и ветер на уровне 10 м, поскольку влияние города на эти величины проявляется наиболее ярко.

# Результаты экспериментов с простой параметризацией города

На рис. 1 представлен ход осредненных по 7 прогнозам значений абсолютной и систематической ошибок в первые и вторые прогнозные сутки.

В рассмотренных прогнозах в первые и во вторые прогнозные сутки в среднем происходит завышение дневной температуры и занижение ночной. В контрольном эксперименте значение абсолютной ошибки составляют 1-3°С. В эксперименте с шероховатостью 5 м ночью температура занижается, а днем завышается в меньшей степени по сравнению с контрольным. И абсолютная ошибка в этом эксперименте наименьшая по сравнению с остальными. Эксперимент с альбедо 5% по уровню ошибок близок к контрольному. Последние два факта говорят о том, что задание большего значения параметра шероховатости и меньшего значения альбедо подстилающей поверхности может улучшить прогноз температуры.

На рис. 2 представлен аналогичный ход ошибок в эксперименте с шероховатостью 5 м для скорости ветра. В среднем систематическая ошибка прогноза скорости ветра для обоих экспериментов положительная, что говорит о завышении в них данного параметра. В контрольном эксперименте абсолютная ошибка колеблется от 1 до 3 м/с. Прогноз ветра в эксперименте с шероховатостью 5 м оказался на 1-2 м/с ближе к данным наблюдений, чем в контрольном.

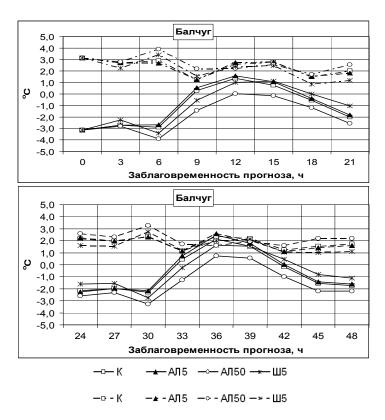


Рис. 1. Систематическая ошибка (сплошная линия) и средняя абсолютная ошибка (пунктирная линия) прогнозов температуры на уровне 2 м на станции Балчуг. Сверху – первые сутки прогноза, снизу – вторые сутки прогноза.

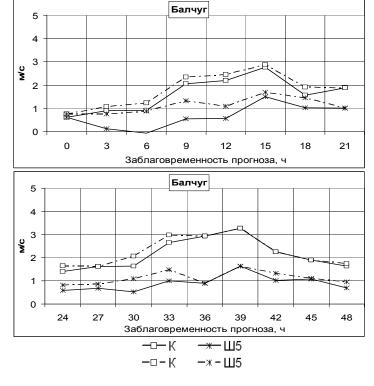


Рис. 2. Систематическая ошибка (сплошная линия) и средняя абсолютная ошибка (пунктирная линия) прогнозов скорости ветра на уровне 10 м на станции Балчуг. Сверху – первые сутки прогноза, снизу – вторые сутки прогноза.

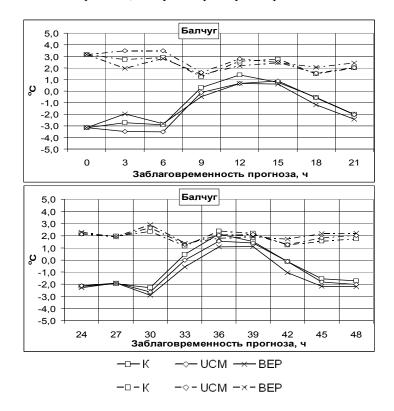


Рис. 3. Систематическая ошибка (сплошная линия) и средняя абсолютная ошибка (пунктирная линия) прогнозов температуры на уровне 2 м на станции Балчуг. Сверху – первые сутки прогноза, снизу – вторые сутки прогноза.

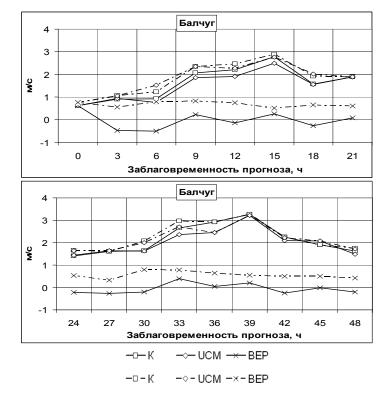


Рис. 4. Систематическая ошибка (сплошная линия) и средняя абсолютная ошибка (пунктирная линия) прогнозов скорости ветра на уровне 10 м на станции Балчуг. Сверху – первые сутки прогноза, снизу – вторые сутки прогноза.

# Результаты экспериментов с параметризациями города

Ход систематической ошибки прогноза температуры в городских экспериментах аналогичен в целом ее ходу в контрольном эксперименте (рис. 3). Днем в экспериментах UCM и BEP в среднем температура занижается в меньшей степени за счет описания в городских параметризациях процессов отражения радиации и затенения земной поверхности зданиями.

В аналогичных экспериментах с параметризациями UCM и ВЕР для других городов наблюдалось увеличение ночных температур за счет дополнительного потока явного тепла, выделяемого перегретыми за день зданиями и искусственными поверхностями. Для этих городов были созданы подробные карты землепользования, а также описаны морфометрические характеристики (высота зданий, ширина дорог и крыш и т.д.). Возможно, отсутствие в Москве ночного острова тепла в прогнозах с учетом городских параметризаций связано, во-первых, с неточностью контура городской застройки в базе типов землепользования USGS, используемой моделью WRF, а вовторых, с несоответствием заданных в модели по умолчанию морфометрических параметров их реальным значением для Москвы. В дальнейшем предполагается исследование этих предположений.

Без учета подробной карты землепользования всем городским точкам присваивается средняя высота зданий 15 м, что примерно соответствует пятиэтажному дому. Однако большое количество зданий в Москве превышают эту отметку. Был проведен один эксперимент с параметризацией UCM для 1 августа со средней высотой зданий 20 м. В 12 СГВ температура в эксперименте со средней высотой зданий 20 м уменьшилась в городских точках на величину 0,1-0,5°С, а в 00 СГВ на столько же увеличилась. Следовательно, уточнение морфометрических параметров для Москвы может улучшить прогноз температуры как в дневные, так и в ночные часы.

На рис. 4 приведен ход оценок прогноза скорости ветра. Лучшие результаты в прогнозе скорости ветра получены в экспериментах с параметризацией BEP, отличие от двух других экспериментов в абсолютной ошибке достигает 3 м/с, а его систематическая ошибка колеблется около 0.

#### Выводы

- 1. Модель WRF с простой параметризацией города завышает температуру днем и занижает ночью, а также значительно завышает скорость ветра. Среднее значение абсолютной ошибки прогноза температуры в период с 1 по 7 августа колеблется от 1 до 3°С, прогноза скорости ветра от 1 до 3 м/с. Увеличение значения шероховатости в модели несколько улучшает прогноз температуры и существенно улучшает прогноз скорости ветра. Во всех проведенных экспериментах не получился характерный для острова тепла ход температуры.
- .2. Параметризации города UCM и BEP не дают улучшения прогноза температуры при существующей базе землепользования и заданных по умолчанию значениях морфометрических параметров. Для корректных расчетов по данным параметризациям, скорее всего, требуется уточнение данных параметров для Москвы и точная карта землепользования для Московского региона.
- 3. Даже при существующей карте землепользования параметризация BEP дает заметно лучший прогноз ветра.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Оке Т.Р. Климаты пограничного слоя. Л., Гидрометеоиздат, 1982, 292 с.
- 2. Chen F. Developing an Integrated Urban Modeling System for WRF. NCEP EMC Seminar, Camp Springs, 18 October 2005.
- 3. Kusaka H. and Kimura F. Coupling a single-layer urban canopy model with a simple atmospheric model: Impact on urban heat island simulation for an idealized case. Journal of the Meteorological Society of Japan, N 82, 2004, pp. 67-80.
- 4. Martilli A., Clappier A., and Rotach M. W. An urban surface exchange parameterization for mesoscale models, Boundary-Layer Meteorology, № 104, 2002, pp.261-304.
- 5. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Wang W., and Powers J.G. A Description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR Tech Note, NCAR/TN-468+STR., 2007. 88 pp.

# СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ КАРТЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ ЯКУТСКОГО УГМС

#### Попкова М. В., Шабалина А. В.

Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург

# Введение

Одним из наиболее благодатных полей применения ГИС-технологии является гидрология. Предметами изучения данной науки являются пространственно распределенные водные объекты. Для выполнения расчетов характеристик гидрологического режима (стока воды и наносов, термического режима, гидрохимических и экологических параметров), необходимо знание морфометрических характеристик водных объектов и их взаимного расположения в пространстве. Применение ГИС-технологии для

решения этих и многих других задач позволяет выполнять сложные пространственные операции с данными гидрологических наблюдений, с целью оперативного получения результатов их обработки [1].

Методы ГИС используются в гидрологических расчетах с целью проверки, отбора и организации исходных данных гидрологических измерений. Тематическое картирование результатов наблюдений на станциях является полезным, как в оперативной гидрологии, так и для подготовки прогнозов.

# Базы цифровых географических данных для гидрологической ГИС

Для составления цифровой карты гидрологической изученности Якутского УГМС в качестве топографической основы была использована Цифровая векторная карта Мира (DCW) масштаба 1:1 000 000 в формате ArcInfo. В качестве тематической информации были использованы данные многолетних наблюдений на гидрологических постах за стоком воды рек, расположенных в Якутии.

Для обработки данных применялось программное ГИС обеспечение ArcView и AutoCad Map. На карте с помощью этого программного обеспечения были проведены границы водосборов, измерены и уточнены площади водосборов рек и озер, длина и продольный уклон рек, средние уклоны бассейнов, координаты их центров тяжести и др. На рис. 1 показана карта бассейнов крупных рек на территории деятельности Якутского УГМС.

# Измерение морфометрических характеристик гидрологических объектов

Морфометрические характеристики речных водосборов, такие как площадь водосбора, длина, уклон, центр тяжести являются важнейшими параметрами для расчета основных гидрологических характеристик: годового, максимального и минимального стока воды, наносов, мутности рек и др.

# 3.1. Определение водоразделов рек и водоемов

Первой и одной из самых сложных задач является автоматизированное проведение границ между бассейнами (водосборами) рядом расположенных водотоков или водоемов.

При использовании векторных данных наилучшие результаты получены с программным обеспечением AutoCAD Map.

# 3.2. Измерение длин водных объектов

В пределах бассейна водотоки формируют речную сеть. Речная сеть представлена водотоками разного размера.

Измерение длин линейных объектов рекомендуется производить на картах в равнопромежуточных проекциях. Точность измерения зависит от масштаба карты и ее качества. Определение длины отдельной линии в ГИС-программах выполняется автоматически (например, в программе AutoCAD Map - с помощью команды Length). Длина линии определяется как сумма длин всех отрезков, входящих в нее.

# 3.3. Измерение площадей водных объектов и определение их центров тяжести

Для выполнения гидрологических расчетов производится измерение площадей многих объектов: водосборов, озер, водохранилищ, болот и т.д.

В компьютерных вычислениях площадь фигуры рассчитывается аналогично измерению с помощью палетки, но с гораздо большей точностью. Во время этой операции можно получить также периметры объектов и координаты центров тяжести.

Измерение площади объектов необходимо производить только на картах в равноплощадных проекциях. Нарушение этого правила приводит к ошибкам, которые увеличиваются пропорционально уменьшению масштаба карты.

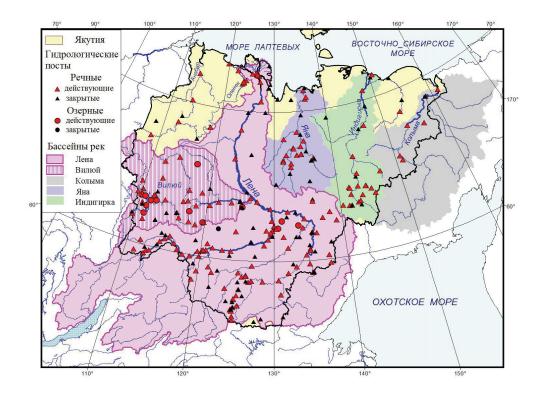


Рис. 1. Расположение гидрологических постов Якутского УГМС в бассейнах крупных рек Якутии На рис. 2 показан водосборный бассейн, имеющий сток к гидрологическому посту №3482, и показан его центр тяжести.

# 3.4. Анализ результатов измерений

Расхождения в длинах рек, измеренных традиционным ручным способом [2] и с помощью ГИС-технологии, близки к точности их определения традиционной технологией. Расхождения в величине площадей водосборов рек полученных по двум методикам составляют всего 0.5 % и находятся в пределах точности ручных измерений. Наибольшие различия до 17%, выявлены для водотоков протяженностью менее 10 км.

Основными причинами расхождения результатов измерений могут быть, прежде всего, различия в исходных картографических материалах. В нашем примере при использовании традиционной технологии применялись карты масштаба 1:100 000, а при использовании ГИС технологии применены карты масштаба 1:1 000 000. Вторым фактором является четкость границ объекта исследований. Как правило, хорошо прослеживаются границы водных зеркал крупных озер и водохранилищ, крупные реки и др. Менее выражены границы болот, мелких озер, небольших лесных массивов и др. Третьим и наиболее важным фактором, который обуславливает различия в морфометрических характеристиках водных объектов, является изменение их размеров за период между составлением карт. Эти изменения могут быть определены как изменением характеристик климата, так и антропогенным воздействием (сооружением дамб, каналов и др.).

Дальнейшее уточнение морфометрических характеристик бассейнов рек Якутии возможно при использовании электронных карт масштаба 1:100 000 и крупнее.

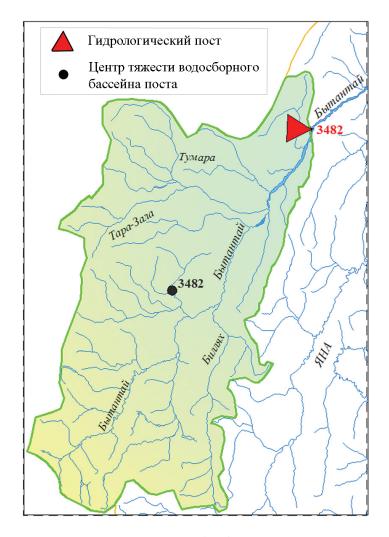


Рис. 2. Водосборный бассейн р. Бытантай (Яна) до гидрологического поста №3482

# Нанесение сети гидрологических постов

Полученная цифровая карта Якутского УГМС была дополнена базами данных, содержащими информацию о наблюдениях, выполненных на гидрологических постах, расположенных в пределах карты.

Станции и посты показываются на электронной карте в виде соответствующих внемасштабных условных знаков (символов).

На рис. 3 показано, что, подведя курсор к символу любого из постов на цифровой карте, можно получить всю необходимую информацию, относящуюся к нему. Например – его код, тип, географические координаты, год создания (закрытия), результаты производимых измерений и др.

Таким образом, после выполнения указанных операций по подготовке цифровой векторной карты, фактически создается исчерпывающая база гидрологических данных бассейна. На ее основе можно составить карты расположения водных объектов и сети гидрологических постов, отобранных по любым, заданным нами критериям (например, только информационных). Можно получить результаты наблюдений на постах и станциях за любой период их выполнения, а также произвести разносторонний анализ репрезентативности гидрологической сети выбранного бассейна, в том числе и применительно к задаче оптимизации сети [3, 4].

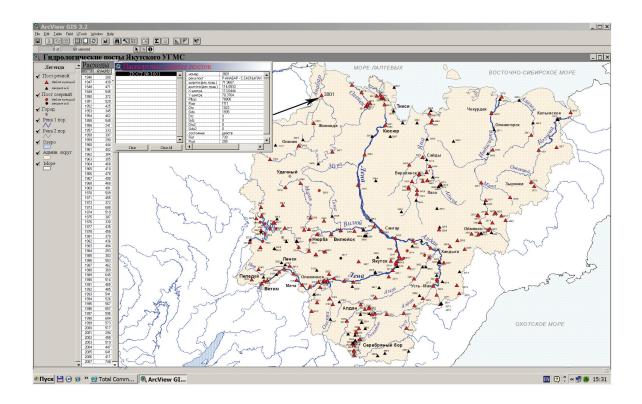


Рис. 3. Цифровая карта гидрологической изученности Якутского УГМС с базами данных наблюдений на постах и их паспортными данными

Речная сеть Якутского УГМС сравнительно хорошо изучена. В 1986 году, который является годом наибольшего развития гидрологической сети, здесь действовало 286 постов, из которых речных постов было 271, а озерных - 15. После 1992 г. количество гидрологических постов несколько уменьшилось. Действующие и закрытые посты показаны на рис. 1 и 3.

# Заключение

Применение ГИС технологии позволяет получить качественно новую информацию о морфометрических характеристиках водосборов рек или уточнить имеющиеся характеристики.

Полученная цифровая карта может служить основой для создания реестра водных объектов, для оценки водных ресурсов и оптимизации гидрологической сети.

В условиях сократившегося в 1990-е годы числа гидрологических постов вновь актуальным стало географическое направление в гидрологии, когда необходимые гидрологические характеристики на неизученных реках можно получить путем интерполяции между известными значениями на постах.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Орлова Е.В. Гидрологическое картирование в среде ГИС. Геоэкология и рациональное природопользование: Материалы научной конференции, посвященной 15-летию кафедры картографии и геоэкологии, 28-29 мая 2005 г. Тверь: ТГУ, 2005. с.111-114
- 2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.З. Северный край. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 663 с.
- 3. Бобровицкая Н. Н., О. Б. Воскресенский, А. В. Кокорев, Е. В. Орлова, В.Г. Седов Автоматизированная технология анализа гидрологической сети с целью ее оптимизации –

HydroNet-2004 Докл. VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 1. 28сентября – 1 октября 2004 г. - СПб.: Гидрометеоиздат, 2004. - с.7-8

4. Бобровицкая Н.Н., О.Б. Воскресенский, Е.В. Орлова, В.Г. Седов Принципы и методические подходы к подготовке карт гидрологической изученности речных бассейнов с помощью ГИС – технологии. Проблемы русловедения: Тр. Академии проблем водохозяйственных наук. – М.: Геогр. ф-т МГУ, 2003. - Вып. 9. - с.44-54

# ОЦЕНКА РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. ТЕРЕК

# Сапожникова А. А.

Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова, г. Москва

Одной из задач теории русловых процессов является изучение динамики русловых форм и интенсивности русловых деформаций. Изменение гидравлических характеристик потока вызывает перестройку форм рельефа русла, которые в реках с незарегулированным режимом и значительным стоком наносов находятся в процессе непрерывного развития.

Русловые деформации, в зависимости от их развития по отношению к направлению силы тяжести и роли в осуществлении эрозии грунта, транспорта и аккумуляции наносов, составляют три основные группы:

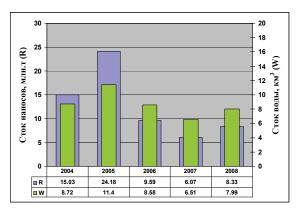
- вертикальные, вызывающие трансформацию продольного профиля реки (врезание или аккумуляция) и изменение отметок дна русла;
- горизонтальные, связанные с перемещением русла в плане и размывом берегов;
- движение аллювиальных гряд, обусловливающее формирование аккумулятивных образований в русле [4].

Русловые деформации, обусловленные работой потока и связанные с переотложением наносов, характерны для нижнего течения р. Терек, включая его дельту. В русле рукава Новый Терек - магистрального рукава дельты Терека происходит активное развитие и перемещение форм рельефа различных масштабов, сезонные и многолетние изменения русла, обуславливающие размывы дна и берегов, транспорт и аккумуляцию наносов, прорывы бровок русла и затопление окружающих территорий [1].

Одним из показателей развития русловых деформаций является отношение отметки уровня воды в реке  $H_P$  к отметке окружающей территории  $H_\Pi$ . Поскольку в русле рук. Новый Терек  $H_P > H_\Pi$ , река имеет антидолину, т. е. по направленности изменения продольного профиля является аккумулирующей.

Натурные исследования, проведенные ФГУ «ГОИН» в русле рук. Новый Терек в период с 2004 по 2008 г., выявили факт значительных колебаний отметок дна, которые, в первую очередь, обусловлены прохождением больших объемов стока взвешенных и влекомых наносов (рис. 1) и колебаниями уровня Каспийского моря (табл. 1).

За период 1965-2008 гг. среднегодовой сток воды и наносов в вершине рук. Новый Терек составляет  $6,14 \, \kappa m^3$  и  $11,59 \, млн. \, m$ , соответственно.



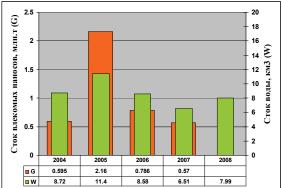


Рис. 1. Динамика стока воды и наносов в вершине рук. Новый Терек 2004-2008 гг. (г/п НБ Каргалинского ГУ)

В период прохождения катастрофического паводка (2005 г.) водный поток, обладающий большой энергией, выносит в дельту огромное количество твердого материала, который затем осаждается в русле рук. Новый Терек на спаде паводковой волны. На фоне относительно плавных изменений значений годового стока воды в 2004-2008 гг. (рис. 1), годовой сток взвешенных и влекомых наносов колеблется в широких пределах. Отклонение значения стока воды от среднего за указанный период составляет 32% в многоводном 2005 г. и -25% в маловодном 2007 г.; отклонение значений стока взвешенных и влекомых наносов от среднего – 91% и 110% в 2005 г., -52% и -45% в 2007 г. Очевидно, что изменчивость объема стока наносов от года к году является одной из причин развития русловых деформаций в русле рук. Новый Терек.

Таблица 1 Среднегодовые отметки дна на устьевом участке р. Новый Терек, м. абс.

$\sim$	редистодовые отметии	And no jerbebom j me	inc pi iiobbin i cpcn,	11. 11.00.
Годы	г/п НБ Каргалинского ГУ	г/п Аликазган	г/с Дамба	Уровень моря
2004	-1,413	-24,815	-27,679	-27,04
2005	-1,518	-24,688	-28,243	-26,92
2006	-1,384	-24,740	-27,962	-26,93
2007	-1,340	-24,676	-27,774	-26,97
2008	-1,373	-24,934	-28,043	-27,01

Для оценки направленности деформаций русла была рассчитана транспортирующая способность потока, под которой понимается наибольшая при данных гидравлических условиях мутность потока  $\rho_T$  ( $z/m^3$ ). Направленные вертикальные деформации русла обусловлены соотношением фактического насыщения потока наносами  $\rho$  ( $z/m^3$ ) и транспортирующей способности  $\rho_T$ . В условиях, когда  $\rho_T > \rho$ , происходит размыв русла, а в условиях  $\rho_T < \rho$  — наблюдается осаждение частиц взвеси, т.е. аккумуляция.

Оценка  $\rho_T$ , полученной в результате расчетов по формуле Е. А. Замарина [5] показала, что за период 2004-2008 гг. в створах гидрологических постов рук. Новый Терек преобладал процесс размыва. Рост объема речных отложений в русле реки происходил во время весеннего паводка, когда вместе с талым снегом и дождевой водой с водосбора, расположенного на северных склонах Большого Кавказского хребта, и берегов смывается твердая масса в большом количестве. В вершине рассматриваемого участка рук. Новый Терек в створе НБ Каргалинского ГУ по данным 2004-2008 гг. значения мутности колебались от 1100 до 2200  $z/m^3$  в половодье и от 400 до 700  $z/m^3$  в меженный период. Транспортирующая способность определена в пределах значений от 2300 до 4900  $z/m^3$  в половодье и от 700 до 1200  $z/m^3$  в межень.

Используя данный способ определения  $\rho_T$ , необходимо отметить, что в этом случае учитывались только взвешенные наносы. Для определения знака направленных деформаций правильнее рассматривать транспортирующую способность потока по отношению к влекомым наносам.

В составе взвешенных наносов рук. Новый Терек преобладают частицы с диаметром 0,02 *мм*. Поэтому полученный количественный результат, описывающий наличие эрозионных процессов в русле, указывает скорее на отсутствие илистых фракций [5] в донных отложениях. Влекомые наносы сложены, в основном, частицами грунта диаметром 0,25 *мм* (мелкозернистый и среднезернистый песок), а содержание их во взвеси обычно не превышает 5 %.

В настоящее время определение фактической транспортирующей способности для влекомых наносов невозможно, и требуются специальные исследования для выработки обоснованных формул.

По данным натурных экспедиционных исследований ФГУ «ГОИН» и материалов наблюдений на стандартной сети гидрологических постов Дагестанского ЦГМС Росгидромета были построены графики внутригодовых колебаний отметок дна русла в створах г/п рук. Новый Терек – НБ Каргалинского ГУ, г/п рук. Новый Терек – Аликазган (рис. 2) и г/п рук. Новый Терек – Дамба за 2004-2008 гг.

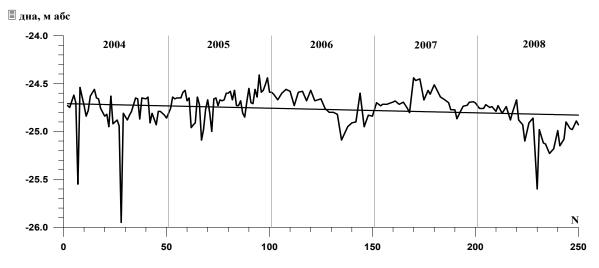


Рис. 2. Внутригодовые колебания отметок дна (рук. Новый Терек - г/п Аликазган), 2004-2008 гг.

На основе данных промеров был проведен расчет расходов и стока влекомых наносов по формуле Г. И. Шамова [2], исходя из предположения, что они перемещаются в форме гряд. Ниже приведены значения величины стока влекомых наносов в русле рук. Новый Терек по трем гидростворам за 2005 и 2008 гг.

Количественный анализ полученных данных достаточно хорошо отражает характер колебаний отметок дна, показанных на рис. 2.

Рассматривая изменение стока влекомых наносов от вершины дельты р. Терек вниз по течению (НБ Каргалинского  $\Gamma Y - \Gamma / \pi$  Аликазган  $- \Gamma / \pi$  Дамба), можно локально выделить участки с преобладанием того или иного вида деформаций. Например, на участке от НБ Каргалинского  $\Gamma Y$  до  $\Gamma / \pi$  Аликазган в апреле 2005 года сток влекомых наносов уменьшился на 78,5 тыс. т, а в июле этого же года сток наносов от  $\Gamma / \pi$  Аликазган до  $\Gamma / \pi$  Дамба возрос на 45,3 тыс. т. В первом случае наблюдается процесс аккумуляции (рис. 3), а во втором – процесс размыва.

Таблица 2 Внутригодовое распределение стока влекомых наносов в створах гидрологических постов рук. Новый Терек, *тыс.т* 

2005												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Каргалинский		3.31	3.36	86.3	74.8	69.8	23.1	9.49	5.53	14.0	5.27	3.98
Аликазган		1.49	2.64	7.86	8.89	2.79	2.22	2.31	3.17	8.97	1.83	1.76
Дамба	27.7				38.3	43.8	47.4	42.9	47.4		47.9	
					2008	}						
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Каргалинский		6.09	4.27	2.79	7.39	12.8	15.5	6.69	3.07	4.00	3.66	3.01
Аликазган		1.50	1.70	1.57	2.32	6.21	4.45	1.25	0.70	1.13	0.89	1.07
Дамба			1.23	1.07	1.83		2.14	1.81	0.77	1.15	1.10	0.55

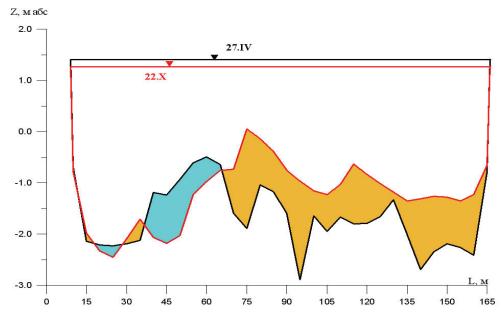
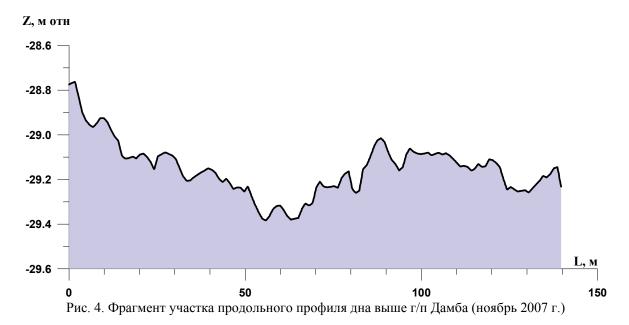


Рис. 3. Поперечный профиль русла в створе НБ Каргалинского ГУ, 2005 г. (голубой цвет - размыв, коричневый цвет - аккумуляция)

По результатам промеров, проведенных в рамках экспериментальных исследований  $\Phi\Gamma$ У «ГОИН» на русловом полигоне в районе г/п Дамба в ноябре 2007 года, были составлены продольные профили и карты рельефа дна (рис. 4).

Характер изменений отметок дна свидетельствует о существовании и перемещении донных гряд различных пространственных масштабов. Анализ результатов позволил выделить сложный комплекс донных форм, включающий дюны длиной около 20 м и высотой 0,2-0,3 м, на которых формируются более мелкие рифели длиной около 5 м и высотой до 0,1 м. Так как на момент проведения промеров средняя скорость потока в створе г/п Дамба составляла 0,72 м/с, а средняя глубина потока 2,2 м, то такое соотношение величин допускает массовое движение влекомых наносов в виде песчаных волн [3].

Определение скоростей перемещения гряд позволяет выявить сроки их прохождения к участкам разветвления русла и распределения стока между рукавами.



Горизонтальные деформации русла магистрального рук. Новый Терек имеют периодический характер. Они в основном заключаются в спрямлении свободных излучин, их образовании, в попеременном развитии рукавов в разветвленном русле (Шавинский и Гудийский банки), их обмелении, образовании новых островов. Однако заметим, что большую роль здесь играет антропогенный фактор.

Количественный анализ и наблюдения за общими тенденциями развития руслового процесса в нижнем течении р. Терек, а также оценка устойчивости русловых отложений могут представить интерес для решения практических задач, а именно: регулирование русловых деформаций, обеспечение стабилизации отдельных участков русла, предотвращение угрозы аварийных прорывов и создание искусственных русел.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Грант № 07-05-00533.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Горелиц О.В., Землянов И.В., Павловский А.Е., Сапожникова А.А., Поставик П.В., Яготинцев В.Н. Катастрофические паводки 2002 и 2005 гг. в дельте Терека. Труды Международной научной конференции «Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе». М., 2006. С. 144-148.
- 2. Караушев А.В. Речная гидравлика. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1969. С. 323.
- 3. Справочник по гидравлическим расчетам. Под ред. Киселева П.Г. М.: Энергия, 1972. С. 193.
- 4. Чалов Р.С. Общее и географическое русловедение. М.: МГУ, 1997. С. 38.
- 5. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. M.: Колосс, 2004. 656 c.

# ВЫБРОСЫ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ОПЕРАЦИЙ С НЕФТЬЮ В РОССИИ

# Уварова Н. Е.

ГУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, г. Москва

К проблеме глобального изменения климата привлечено пристальное внимание научного сообщества и общественности. С большой долей вероятности основной причиной изменения климата называется резкое увеличение атмосферных концентраций парниковых газов, вызванных антропогенной деятельностью. Среди различных видов антропогенной деятельности, операции с нефтью сопровождаются атмосферными выбросами парниковых газов СО2, СН4 и N2O. По предварительным оценкам на долю нефтегазового комплекса России приходится около 1% валовых выбросов парниковых газов. Таким образом, сектор может дать существенный вклад в осуществление объявленных Президентом Российской Федерации на Пятой конференции Сторон Киотского протокола в декабре 2009 г. в Копенгагене целей по снижению валового выброса парниковых на 25%. При этом нефтегазовый комплекс составляет основу энергоснабжения и обеспечивает около 75% первичных энергоресурсов. Именно поэтому вопрос точных расчетов выбросов парниковых газов нефтегазового сектора стоит наиболее остро. Целью работы является оценка выбросов парниковых газов (СО2, СН4 и N<sub>2</sub>O) при операциях по добыче и первичной переработке нефти, которые включают продувку нефтяных скважин и оборудования, а также сжигание попутного нефтяного газа (ПНГ). Их доля в выбросах является наибольшей.

Основные исходные данные о нефтяной отрасли России собираются Росстатом и публикуются в составе Российских статистических ежегодников [2, 3]. На рис. 1 и 2 приведены данные о добыче и первичной переработке нефти (рис. 1), а также добыче и сжиганию попутного нефтяного газа (рис. 2) в России с 1990 по 2007 гг. по данным Росстата [2, 3]. Расчетный период по объемам выбросов начинается с 1990 года, уровень которого принят за нулевую отметку.

Как видно из рис. 1 и 2, объемы добычи в 1996—1998 гг. были наименьшими за рассматриваемый период. Показатели первичной переработки нефти достигли минимума в 1998 году. Экономический рост после 1998 года сопровождался активизацией экономической деятельности в нефтяной отрасли, но по большинству из приведенных показателей уровень 1990 года пока еще не достигнут (рис.1). Сходная динамика наблюдается и в объемах добычи и сжигания попутного нефтяного газа, но в 2007 году объем сжигаемого в факелах попутного газа был на 65% выше, чем в 1990 году (рис.2).

В целом эти изменения обусловлены экономическими факторами. Стоит отметить, что на выбросы парниковых газов главным образом влияют объемы сжигаемого попутного нефтяного газа.

Расчет должен выполняться по унифицированным методикам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Это дает возможность сопоставления оценок разных стран. Руководство МГЭИК включает 3 подхода в зависимости от уровня детализации и точности выполняемых расчетов [5]:

- -Уровень 1 подход, на основе усредненных международных данных по операциям с нефтью;
- -Уровень 2 подход на основе массового баланса и национальных данных;
- -Уровень 3 детальный подход, основанный на специфике отдельных месторождений.

Несмотря на то, что более высокий уровень позволяет точнее произвести расчет, его применение не всегда реализуемо. Только доступность более детальных исходных данных и параметров дает возможность расчета по высоким уровням точности.

Мы проанализировали доступные данные по операциям с нефтью и пришли к выводу о возможности повышения точности оценок парниковых газов благодаря выполнению расчетов по уровню 2 МГЭИК [5].

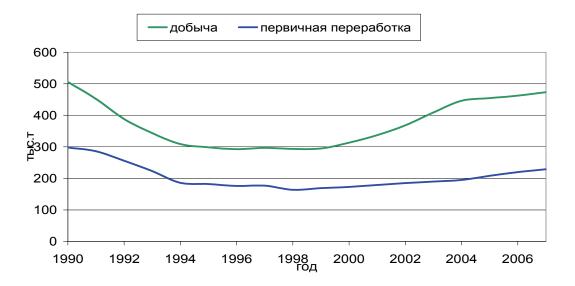


Рис. 1. Динамика добычи и первичной переработки нефти в России с 1990 по 2007 гг.



Рис. 2. Динамика добычи и сжигания попутного нефтяного газа в России с 1990 по 2007 гг.

Эмиссия парниковых газов при операциях с нефтью складывается из выбросов в результате технологических операций по продувке нефтяных скважин и обслуживанию оборудования, а также сжигания неиспользуемого попутного нефтяного газа. МГЭИК рекомендует использовать следующие формулы расчета по уровню 2 [5]:

Эмиссия при продувке нефтяных скважин и оборудования:

$$E_{GAS,OIL\ PROD,VENTING} = GOR \bullet Q_{OIL} \bullet (1 - CE) \bullet (1 - X_{FLARED}) \bullet M_{GAS} \bullet y_{GAS} \bullet 42.3 \bullet 10^{-6}$$

Эмиссии при сжигании попутного нефтяного газа:

$$\begin{split} E_{CH_4,OIL\_PROD\_FLARING} &= GOR \bullet Q_{OIL} \bullet (1-CE) \bullet X_{FLARED} \bullet (1-FE) \bullet M_{CH_4} \bullet y_{CH_4} \bullet 42.3 \bullet 10^{-6} \\ E_{CO_2,OIL\_PROD,FLARING} &= GOR \bullet Q_{OIL} \bullet (1-CE) \bullet X_{FLARED} \bullet (1-FE) \bullet M_{CO_2} \bullet \left[y_{CO_2} + \left(N_{C_{MNTOC}} \bullet y_{CH_4} + N_{C_{MNTOC}} \bullet y_{NMYOC}\right) \bullet (1-X_{SOOT})\right] \bullet 42.3 \bullet 10^{-6} \\ E_{N_2O,OIL\_PROD,FLARING} &= GOR \bullet Q_{OIL} \bullet \left(1-CE\right) \bullet X_{FLARED} \bullet EF_{N_2O} \bullet EF_{N_2O}$$

В свою очередь, суммарный выброс по каждому виду хозяйственной деятельности и каждому газу определяется как:

$$\begin{split} E_{CH_4,OIL\_PROD} &= E_{CH_4,OIL\_PROD,VENTING} + E_{CH_4,IL\_PROD,FLARING} \\ E_{CO_2,OIL\_PROD} &= E_{CO_2,OIL\_PROD,VENTING} + E_{CO_2,OIL\_PROD,FLARING} \;, \end{split}$$

где

Egas, oil prod, venting — величина эмиссии  $CH_4$ , и  $CO_2$  газа при продувке скважин и оборудования,  $\Gamma \Gamma$ ;

Egas, oil prod, flaring — величина эмиссии  $CH_4$ ,  $CO_2$  и  $N_2O$  газа при сжигании попутного нефтяного газа ,  $\Gamma \Gamma$ ;

GOR – газовый фактор;

Qoil – общая добыча нефти,  $(10^3 \text{м}^3/\text{год})$ ;

Mgas – молярная масса CH<sub>4</sub>, или CO<sub>2</sub>, г/моль;

 $N_{Ci}$  – число молей углерода на моль соединения;

ygas – доля газа CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NMVOC в смеси;

СЕ – эффективность использования попутного нефтяного газа;

Xflared – доля сжигаемого попутного нефтяного газа;

FE – эффективность сгорания попутного нефтяного газа;

Xsoot – доля углерода (не  $CO_2$ ), которая при горении превращается в сажу;

 $EF_{N2O}$  — коэффициент эмиссии оксида диазота при сжигании попутного нефтяного газа,  $\Gamma \Gamma/10^3 \text{M}^3$ ;

 $42.3 \times 10^{-6}$  — число моль в 1 м<sup>3</sup> газа при 15°C и 101,325 кПа (величина, обратная молярному объему газа). [5].

Здесь стоит заметить, что формулы для расчета эмиссии  $CO_2$  и  $CH_4$  основаны на массовом балансе, а формула для расчета выброса  $N_2O$  - на усредненных международных данных по операциям с нефтью.

Анализ данных Ростата показал, что для расчета по уровню 2 необходимо:

- ввести в формулы расчета объемы фактической добычи попутного нефтяного газа с соответствующими изменениями параметров. Таким образом, разработанные МГЭИК формулы были адаптированы автором для условий Российской Федерации, чтобы отразить природно-хозяйственные особенности страны. Данные Росстата содержат информацию по объемам добываемого попутного нефтяного газа, в которые не входит объем, его потерь при продувке и сжигании. Для вычисления фактических объемов извлечения попутного газа используется значение эффективности его использования— (СЕ).
  - заменить долю сжигаемого попутного газа (Xflared) на эквивалентное выражение

$$\frac{Q_{FLARED}}{Q_{USED\_OIL\_GAS}} \bullet (1-CE),$$

которое рассчитывается по данным о его использовании.

Данные о добыче углеводородов в нашей стране представляются при 20°C и 101,325 кПа, в то время как предлагаемая МГЭИК постоянная 42.3х10<sup>-6</sup> соответствует

условиям 15°C и 101,325 кПа, принятым в Европе и США. Пересчет на условия, принятые в России был произведен на основе формулы Клайперона-Менделеева.

В расчетах было принято допущение, что долевое соотношение газов в извлекаемой смеси соответствует месторождениям Западной Сибири. Допущение основано на том, что добываемая в данной нефтегазовой провинции нефть весьма разнообразна по составу и попутный нефтяной газ зачастую более богат высшими углеводородами. Поэтому принятое допущение исключает недооценку эмиссии, а несколько завышает ее, что является консервативной оценкой в интерпретации МГЭИК [5]. Кроме того, вклад в валовую нефтедобычу России месторождений Западной Сибири около 60%.[1]. Число молей углерода на моль высших (относительно СН4) соединений было принято как для паров сырой нефти. Это также консервативная оценка, направленная на незначительное завышение эмиссии парниковых газов: предполагается наличие в газовой смеси паров сырой нефти, более богатой высшими углеводородами. В свою очередь, объем сжигаемого попутного нефтяного газа рассчитан по данным Росстата о его использовании с 1990 по 2007 гг. В Таблице 1 обобщены изменения, внесенные в формулы расчета выбросов парниковых газов, для их адаптации к условиям Российской Федерации.

Таблица 1 Изменения параметров в формулах расчета эмиссии парниковых газов при операциях с нефтью для адекватного отражения природно-хозяйственных особенностей России

Параметр формулы	Изменения параметра для условий РФ	Источник данных или метод расчета	Комментарии и объяснения
$GOR \bullet Q_{OIL}$	$\frac{Q_{USED\_OIL\_GAS}}{CE}$	Росстат	Представляемые Росстатом данные по объемам добычи и использования попутного нефтяного газа не требуют сведений о газовом факторе
42.3x10 <sup>-6</sup>	41.6x10 <sup>-6</sup>	Пересчет на другие стандартные условия	Параметры пересчитаны на температуру 20°С и давление 101,325 кПа по уравнению Клайперона-Менделеева
$y_{\rm gas}$	y <sub>CH4</sub> =0,583 y <sub>CO2</sub> =0,009 y <sub>NMVOC</sub> =0,373	Использованы данные Андрейкиной [1] для месторождений Западной Сибири	Рассчитано среднее значение долевого состава попутных нефтяных газов в смеси
NC <sub>NMVOC</sub>	4,6	МГЭИК [5]	Принято для паров сырой нефти
Xflared	$\frac{Q_{FLARED}}{Q_{USEDOIL\_GAS}} \bullet (1 - CE)$	Авторский расчет	Объем сжигаемого попутного нефтяного газа рассчитан по данным Росстата о его использовании с 1990 по 2007 гг.

Полученные значения эмиссии по каждому виду деятельности и парниковому газу пересчитывали в  $CO_2$ -эквивалент на основе потенциалов глобального потепления МГЭИК, чтобы получить величину совокупной эмиссии парниковых газов. Потенциалы глобального потепления для  $CH_4$  и  $N_2O$  составляют 21 и 310 соответственно [4]. Результаты расчетов выбросов парниковых газов от операций с нефтью в России представлены на рис. 3 и 4. На рис. 3 показана общая эквивалентная эмиссия от различных операций, осуществляемых в процессе добычи нефти. Рис. 4 иллюстрирует вклад отдельных парниковых газов в совокупную эмиссию.

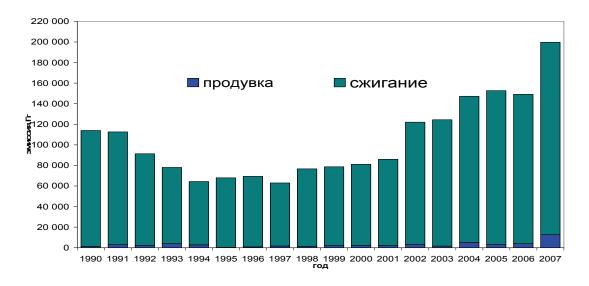


Рис. 3. Эквивалентная эмиссия парниковых газов при нефтедобыче (СО<sub>2</sub>-экв.).

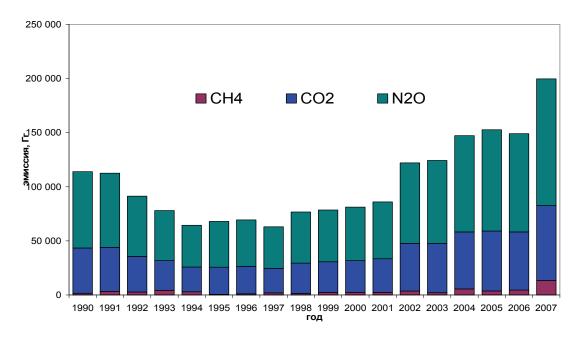


Рис. 4. Вклад отдельных парниковых газов в совокупную эквивалентную эмиссию при операциях с нефтью.

Как показали выполненные расчеты, в 2007 году совокупная эмиссия парниковых газов при нефтедобыче возросла в 1.8 раз по сравнению с уровнем 1990 года и составила около 187 млрд.т СО<sub>2</sub>-экв. (рис. 3). При этом основной вклад в совокупную эмиссию вносит процесс сжигания попутного нефтяного газа - около 97% за период с 1990 по 2007 гг. В связи с высоким потенциалом глобального потепления, N<sub>2</sub>O вносит наибольший вклад в совокупную эмиссию парниковых газов от операций с нефтью (около 61%), что составляет около 11,7 млрд.т (рис.4). Именно поэтому совершенствование оценок эмиссии N<sub>2</sub>O нам представляются наиболее важными задачами дальнейших исследований. Получение более точных оценок выбросов невозможно без детализированных данных о производственной деятельности. Уточнение данных о деятельности нефтедобывающих предприятий также является приоритетным направлением наших будущих исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Андрейкина Л.В. Состав, свойства и переработка попутных газов нефтяных месторождений Западной Сибири, 2005.
- 2. Российский статистический ежегодник. Стат. сб. Госкомстат России. М.: Логос, 1996, -1202 с.
- 3. Российский статистический ежегодник. Стат. сборник/Росстат. М., 2008. -847 с.
- 4. Climate Change 2007 The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC (ISBN 978 0521 88009-1 Hardback; 978 0521 70596-7 Paperback).
- 5. IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (Eds.). Vol. 2 Energy, IPCC/IGES.

#### ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ БАССЕЙНА РЕКИ СЕЛЕНГА

#### Фабричнова Е. $A^1$ ., к.т.н. Шеховцов А. $A^2$ .

1-ГУ Институт прикладной геофизики имени академик Е.К.Федорова, г. Москва 2-АНО «Центр международных проектов», г. Москва

Трансграничный водный объект р. Селенга является самым крупным притоком оз. Байкал и составляет 2/3 его бассейна (рис. 1). В среднем за год она приносит в Байкал около 30 км<sup>3</sup> воды, что составляет половину всего притока в озеро. Следует отметить, что 46% годового стока р. Селенги формируется на территории Монголии, но, как правило, эта часть практически не учитывается при исследовании проблем Байкальского региона. Вместе с тем р. Селенга с её многочисленными притоками дренирует почти половину территории Монголии, где расположены наиболее крупные города, промышленные центры, горнодобывающие комплексы и земледельческие участки. Общая длина реки 1024 км. Площадь водосбора составляет 447060 км<sup>2</sup>, при этом на территорию России приходится 148060 км<sup>2</sup>, включая 94100 км<sup>2</sup> территории Бурятии [1,2].

На основе имеющихся материалов по горной промышленности, сельскому хозяйству, электроснабжению, снабжению нефтепродуктами и автодорожной сети были выявлены возможные источники загрязнения органическими и стойкими токсичными соединениями (СТС) воды рек бассейна р. Селенга в пределах Монголии. Такие источники расположены в районах следующих городов и населенных пунктов: Улан-Батор, Дархан, Эрдэнэт, Сухбаатар, Цэцэрлэг, Мурэн, Булган, Заамар, Ероо (Бугант), Тушиг.

В Монголии из 12 СОЗ запрещены к применению 7 веществ (алдрин, диелдрин, ДДТ, хлордан, гептахлор, токсафен, эндрин). Министерство охраны природы Монголии провело в 2004-2005 учет возможных источников образований диоксина, фурана и других СОЗ. В Монголии образуются диоксин и фуран. Из образованного количества в воздух поступает 3.8%, в воду 0,4%, в почву 0.035%, в отходах производства остаются 95.8%.

Основными источниками диоксина и фурана являются отходы (шлак) очистных сооружений (86.8%). При сжигании хозяйственных твердых отходов количество диоксина и фурана составляет 7%. Почва складов для хранения пестицидов также загрязнена диоксином и фураном. Проведенные исследования в 2000-2001 гг. в районах г. Улан-Батор показали, что содержание диоксина и фурана в почвах многократно превышает установленные стандарты. Источником образования диоксина и фурана в почвах, по всей видимости, можно считать сжигание мусора и полигон "Цагаан даваа" для твердых отходов,

который расположен вблизи района Дарь Эхийн овоо. В 1969-2003 гг. в Монголии применяли пестициды: гексахлорбензол, хлордан, алдрин, диелдрин, гептахлор, ДДТ. В настоящее время эти пестициды не применяются, а также не осталось их запасов.

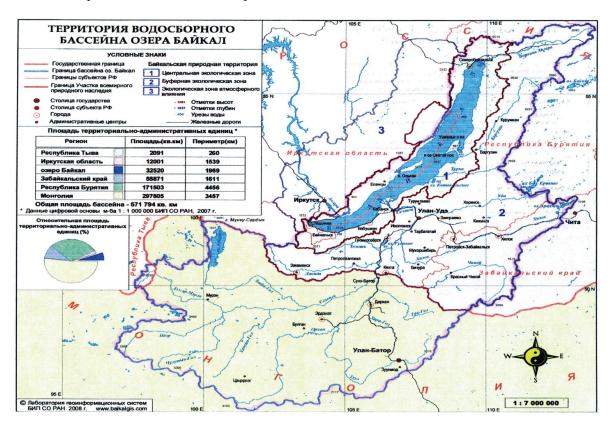


Рис. 1. Территория водосборного бассейна озера Байкал

Полихлорбифенил (ПХБ) широко применяется в системе электроснабжения (трансформаторы, конденсаторы), а также в качестве гидравлической жидкости для насосов. Поэтому основным источником загрязнения ПХБ являются предприятия энергетики и электроснабжения.

Одним из источников загрязнения воды рек органическими соединениями является коммунальные сточные воды крупных городов, которые недостаточно очищаются на очистных сооружениях, и сбрасываются в водные объекты. Сточные воды городов Дархан, Зуунхараа и Улан-Батор загрязняют воду рек Хараа и Туул. Такая же картина наблюдается в бассейне реки Орхон. Здесь кроме коммунальных сточных вод источником загрязнения является технологический сток горно-обогатительного комплекса (ГОК) "Эрдэнэт". Химический состав воды реки Селенга после сброса в нее стоков ГОК "Эрдэнэт" претерпевает значительную трансформацию, резко увеличивая значение иона ( $SO4^{2-}$ ) в 30 раз, иона ( $Na^{+}+K^{+}$ ) - в 26 раз. Это объясняется применением ксантогената натрия и других химических соединений в технологии обогащения руды.

Источником загрязнения воды реки Хангал является коммунальные стоки г. Эрдэнэт после очистки, изменяя ее химический состав (pH= 7.2, взвешенные вещества -8.1 г/л, органические вещества по бихроматному окислению - 29,2 мг/л,  $NH_4^+$  3.9 мг/л,  $NO_3^-$  -8.08 мг/л,  $PO_4^{3+}$  - 6.2 мг/л). Ниже по течению реки Хангал содержание ионов  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$  снижаются, а значение иона  $NH_4^+$  остается почти неизменным. В водах р.Хангал не происходит полного самоочищения и загрязненная вода поступает в р. Орхон.

В последние годы горнодобывающая промышленность Монголии интенсивно развивается. Основные техногенные нагрузки от горнодобывающей деятельности находятся в долинах рек Туул, Хараа, Орхон, которые образуют гидрографическую сеть, с

впадением последней в реку Селенга, по которой загрязняющие вещества выносятся на территорию Российской Федерации. Самой высокой нагрузке подвержен бассейн реки Хараа.

Горная промышленность, особенно незаконная золотодобыча интенсивно загрязняет водную среду. Широкое применение ртути в золотодобыче привело к накоплению шлама, содержащего это вещество первого класса опасности и его соединения. В настоящее время площадь в 37,35 га загрязнена шламами, содержащими ртуть, объем которых достиг почти 200 тыс. тонн. Также большое количество ртутьсодержащих отходов имеется в бассейне реки Хараа. Здесь на площади 40 км² накоплено около 3-х тонн таких отходов. Загрязнение ртутью опасно как для бассейна реки Селенга, так и для здоровья населения.

В р. Буур (пограничная с Россией территория), которая является правым притоком р. Орхон, в районе города Сухбаатар, воды сильно загрязнены в результате поступления нефтепродуктов из нефтебазы железной дороги, за счет коммунальных стоков города. В апреле 2002 г. вода р. Буур по данным гидрохимической лаборатории Института Геоэкологии Академии наук Монголии характеризовалась следующими показателями: перманганатная окисляемость - 16.96 мг/л, нефтепродукты - 10 мг/л, аммонийный азот - 1,0 мг/л.

Одной из трансграничных горячих точек на реке Селенга является расположенный на границе с Монголией пункт Наушки. Через этот пограничный створ в Россию в 2006 г. с водами реки поступило растворенных соединений цинка 81 тонна (в 2005 г. - 31 тонна), меди - 52 тонны (2005 г. - 26 тонн). В 2006 г. по сравнению с 2005 г. со стороны Монголии вынос соединений цинка увеличился в 3 раза, меди - в 2 раза. Из этого следует, что на территорию Российской Федерации воды реки Селенга поступают подверженными существенной антропогенной нагрузке [3,4].

На территории Российской Федерации в Республике Бурятия основные промышленные узлы, находящиеся в бассейне р. Селенга: Кяхтинский, Улан-Удэнский, Нижнеселенгинский непосредственно на р. Селенге; Закаменский, Гусиноозерский и Заиграевский на ее притоках и озере Гусиное. Эти промышленные узлы являются основными загрязненными территориями бассейна.

На территории Улан-Удэнского промышленного узла размещаются заводы (авиационный, локомотиворемонтный, приборостроительный и др.), предприятия топливной энергетики (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2), комбинаты и фабрики пищевой, легкой, деревообрабатывающей промышленности, мелкие мебельные производства, нефтебазы и многочисленные автозаправочные станции.

Ежегодный сброс сточных вод от предприятий г. Улан-Удэ составляет около 40 млн. м<sup>3</sup>. При этом, качественный состав сточных вод не соответствует нормам предельно допустимых сбросов по взвешенным веществам, органическим загрязнителям, БПК<sub>5</sub>, азоту аммонийному, хлоридам, сульфатам, тяжелым металлам и другим веществам. Кроме того, г. Улан-Удэ уже в течение 11 лет входит в перечень наиболее загрязненных городов Российской Федерации по качеству атмосферного воздуха, что также оказывает негативное воздействие на водные объекты.

Из ежегодно образующихся отходов утилизируется менее половины. На предприятиях города накоплено более 4,5 млн. тонн опасных отходов.

Нижнеселенгинский промышленный узел расположен в 50 км от впадения р. Селенга в озеро Байкал. Источниками загрязнения подземных вод в данном узле являются шламоотстойники Селенгинского целлюлозно-картонного комбината и ТЭЦ, а также очистные сооружения.

В многолетнем разрезе на данном объекте прослеживается стойкое загрязнение подземных вод сульфатами, концентрации которого изменяются в значительных пределах (до 1400 мг/л). В подземных водах обнаруживается лигнин и таловое масло; прогрессирует загрязнение подземных вод нефтепродуктами, связанное с инфильтрацией

сточных вод, содержащих нефтепродукты в концентрациях до 14 мг/л. Установлено загрязнение подземных вод кадмием (170 ПДК), марганцем (37 ПДК).

Ежегодно в пос. Селенгинск поступает в реку 2 млн. м<sup>3</sup> сточных вод с массой загрязняющих веществ около 1 тыс. тонн.

Так же как и г. Улан-Удэ, пос. Селенгинск входит в приоритетный перечень наиболее загрязненных городов Российской Федерации по качеству атмосферного воздуха.

В Нижнеселенгинском промышленном узле ежегодно образуется более 400 тыс. тонн отходов, из них утилизируется около одной трети. На предприятиях накоплено более 3 млн. тонн опасных отходов.

В Закаменском промышленном узле более 60 лет разрабатывались месторождения вольфрамово-молибденовых руд (Джидинский ГОК). В 1996 году предприятие было закрыто, но его заброшенные объекты (отвалы горных пород, дренажные рудничные воды, хвостохранилище) продолжают создавать высокие техногенные нагрузки на природную среду.

В результате прошлой деятельности Джидинского ГОК установлено катастрофическое загрязнение поверхностных вод в зоне влияния объектов комбината. Это кислые воды (рН 4,5), в которых концентрации сульфата, натрия и свинца достигают 4-6 ПДК; цинка, кобальта и никеля - 15-20 ПДК, меди - 64 ПДК, марганца - до 630 ПДК, кадмия - более 1000 ПДК.

Из хвостохранилища фильтруются воды с концентрацией фтора около 20 мг/л, железа - более 8 мг/л, а также содержатся тяжелые металлы. Они загрязняют поверхностные и подземные воды в устье р. Модонкуль, в которых обнаруживаются фтор в концентрациях 5 ПДК, марганец - 12 ПДК, кадмий - 37 ПДК, кобальт и свинец - 1-2 ПДК. На протяжении ряда лет р. Модонкуль приток р.Джиды является самым загрязненным водным объектом на территории Бурятии. В 2002 году в р.Модонкуль было сброшено с шахтными водами 2,659 тонн железа, 1,4 тонн меди, 2,467 тонн цинка, 0,151 тонн никеля, 0,171 тонн хрома, 0,216 тонн кадмия..

Особенно опасная ситуация создалась в 2006 году, когда в Закаменском и Джидинской районах прошли катастрофические паводки. Максимальные концентрации железа, меди, взвешенных веществ были зарегистрированы в фоновом створе р.Модонкуль.

Загрязнение населенных пунктов и подземных вод мазутом в Джидинском районе связано с заброшенным мазутным хозяйством Джидинского вольфрамо-молибденового комбината. Только благодаря стечению природных обстоятельств в периоды паводков не произошло загрязнения нефтепродуктами р. Селенги - основного притока озера Байкал.

В районе г. Гусиноозерска расположены ГРЭС, угледобывающие предприятия, карьеры добычи глины, кирпичный завод, военные объекты.

Сточные воды ГРЭС сбрасываются в оз. Гусиное, нарушая температурный режим озерных вод и их химический состав. С объектов ООО «Водоканал» г. Гусиноозерска в 2005 году в озеро сброшено 3,1 млн. м<sup>3</sup> загрязненных вод, с которыми поступило более 1,5 тыс. тонн загрязняющих веществ. Вместе с тем, оз. Гусиное служит источником хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Гусиноозерска, поверхностный водозабор располагается всего в 1,5 км от участков сброса сточных вод.

Угледобывающие предприятия в настоящее время законсервированы, но расположенные на их площади объекты продолжают оказывать вредное воздействие на природную среду. На площадях угледобычи выявлено загрязнение природных вод. Результаты анализа проб карьерных вод показывают содержание в них сульфата натрия в концентрациях 1-3 ПДК, марганца - до 21 ПДК, стронция - 3-4 ПДК. Образующиеся в городе отходы практически не утилизируются [1,2].

Таким образом, бассейн реки Селенга носит трансграничный характер.

Основные источники загрязнения вод бассейна р. Селенга на территории Монголии сконцентрированы в крупных городах, в районах золотодобычи. Органические загрязняющие вещества, в основном, поступают от недостаточно очищенных коммунальных стоков. Очистные сооружения городов имеет несовершенную технологию очистки, устаревшее техническое оборудование и работают не на полную мощность.

Загрязняющие вещества от промышленных узлов, расположенных в Республике Бурятия, поступают в притоки р. Селенга, а далее и в саму р. Селенга и с её водами в озеро Байкал. Загрязнение вод приводит не только к значительному ухудшению качества воды в водных объектах, но и к существенной нагрузке на водные экосистемы.

В связи с этим необходима разработка схем рационального природопользования в бассейне р. Селенга, не только на территории Российской Федерации, но и на территории Монголии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2006 году». М.: АНО «Центр Международных проектов», 2007.
- 2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2007 году». М.: АНО «Центр Международных проектов», 2008.
- 3. Жавзан Ч. Качество и загрязнение водных ресурсов Монголии. 2007.
- 4. Поверхностные воды Монголии. Под. ред. Б.Мягмаржава, Г.Даваа. Улан-Батор, 1999.

### КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ПЛАНЕТАРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Фоломеев В. В., Миллер Е. А., Воробьёва Е. А., Кадыгров Е. Н. ГУ Центральная аэрологическая обсерватория, г. Долгопрудный

#### Введение

Мониторинг термического режима атмосферного пограничного слоя (АПС) является актуальной научной задачей, имеющей целый ряд практических приложений. Зная распределение температуры по высоте и его суточный ход, можно строить краткосрочные прогнозы погоды, делать анализ распространения аэрозолей, проводить исследования эмиссии парниковых газов, влияющих на климат Земли, а также прогнозировать опасные метеорологические явления. Для измерения профилей температуры пограничного слоя атмосферы применяется различная аппаратура: радиозонды, лидары, привязные аэростаты, системы радиоакустического зондирования (RASS), метеорологические мачты. Наряду с предыдущими, было предложено использовать радиофизические методы зондирования. По принципу действия радиофизические методы делятся на активные (радиолокация) и пассивные (радиометрические). Радиометрические методы зондирования атмосферы основаны на приёме её собственного (теплового) излучения на определённых частотах. Как правило, работа с радиометрическими методами ведётся в микроволновом диапазоне(от 1 до 300 ГГц или длинам волн от 300 до 1 мм). В микроволновом диапазоне имеются две вращательные линии H<sub>2</sub>O, центрированные к длинам волн 1,35 см и 1,64 мм, 49 линий O<sub>2</sub>, центрированных к длине волны 5 мм, и одиночная линия О2, центрированная к длине волны 2,53 мм [1, 6, 10] (рис.1).

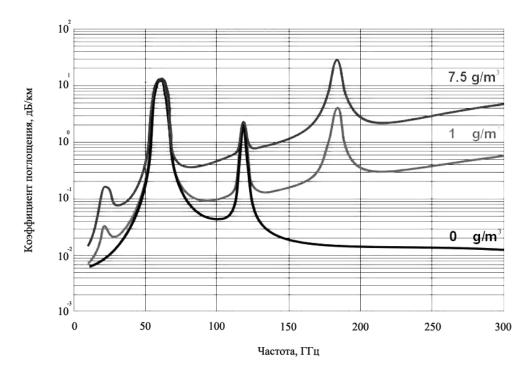


Рис. 1. Поглощение радиоволн микроволнового диапазона в молекулярном кислороде и водяном паре (при различных концентрациях водяного пара)

Для дистанционного зондирования профилей температуры атмосферы было предложено использовать приём собственного теплового излучения атмосферы в максимуме полосы поглощения молекулярного кислорода на частотах вблизи 60 ГГц (длина волны 5 мм) [4, 6, 7, 10]. При этом возможно использование трех способов измерений: частотный способ (измерение теплового радиоизлучения на ряде длин волн, расположенных на склоне полосы λ=5 мм при фиксированном угле наблюдений); угловой способ (на одной частоте при различных углах); комбинированный способ (на ряде длин волн и углов) [10]. Для измерения профилей температуры пограничного слоя атмосферы нами был выбран угловой метод, как более простой и, при этом, обладающий достаточным вертикальным разрешением. Стандартные методы измерений имеют ряд ограничений: работа лидара ограничена метеорологическими условиями, высотные метеорологические мачты имеют очень высокую стоимость, запуск радиозондов ограничен временными периодами и не обеспечивает получения непрерывного ряда данных. В связи с этим в конце XX века стал весьма актуальным вопрос создания компактной, всепогодной, автоматизированной аппаратуры для измерения профилей АПС [1].

#### Создание микроволнового радиометрического приёмника

Как показали результаты численных экспериментов, в случае измерения профилей температуры АПС для устойчивого восстановления температуры по высоте необходимо иметь приведённую чувствительность радиометра не хуже 0,1 K[2,5]. Чувствительность микроволнового радиометра определяется формулой [6]:

$$\Delta T = k \frac{T_{uu} + T_{\Delta TM}}{\sqrt{\Delta f \tau}},\tag{1}$$

где k — коэффициент, зависящий от типа схемы радиометра (k = 0,7 $\sim$ 1,0);  $T_{uu}$  — собственная шумовая температура радиометра;  $T_{\Lambda TM}$  — температура окружающей среды (T  $\approx$  300 K);  $\Delta f$ 

- ширина полосы пропускания радиометра;  $\tau$  – постоянная времени интегрирования. Из данной формулы видно, что создание сверхчувствительного радиометра требует хороших шумовых характеристик, оптимальную схему сборки, широкую полосу пропускания и увеличенное время наблюдений.

Для создания температурного профилемера АПС с необходимой чувствительностью, принципиальным было решение максимально возможно увеличить полосу приёма: если в тропосферных профилемерах использовались частоты на склоне линии поглощения, то нами был выбран угломестный метод, с использованием одной частоты в центре поглощения ( $f=60\ \Gamma\Gamma\mu$ ) [2, 5, 10]. Это позволило увеличить полосу приёма с 250 МГ $\mu$  до 4 ГГ $\mu$  (так как в районе 58-62 ГГ $\mu$  коэффициент поглощения молекулярного кислорода, практически, не зависит от частоты) [2, 5].

В 1989 году в ГУ «Центральная аэрологическая обсерватория» был сделан первый экспериментальный образец микроволнового температурного профилемера на основе компактного, твердотельного радиометра, с гетеродином на диоде Ганна, созданного в ИКИ РАН. Для обработки и анализа данных также привлекались специалисты из Научно-исследовательского радиофизического института (НИРФИ). Первые измерения были проведены летом 1989 года на полевой эксперементальной базе ЦАО (г. Рыльск) с использованием привязного аэростата с датчиками температуры для сравнений. В 1992 году был создан первый опытный образец, который прошёл успешные испытания как в ЦАО, так и в полевых условиях (Кольский п-ов, оз.Имандра; Якутия, алмазный карьер Удачный) [3]. За основу разработки был взят одноканальный модуляционный радиометр Дике, с гетеродином на диоде Ганна. На рисунке 2 приведена его структурная схема. Такие приёмники обеспечивали восстановление профиля температуры до 600 метров.

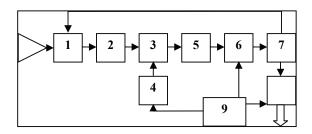


Рис 2. Структурная схема радиометра супергетеродинного типа.

где 1 — модулятор, 2 — вентиль, 3 — смеситель, 4 — гетеродин, 5 — УПЧ, 6 — квадратичный детектор, 7 — УНЧ, 8 — синхронный детектор, 9 — блок питания.

Гетеродин имеет следующие характеристики: частота f=60  $\Gamma\Gamma$ ц  $\pm$  0,5  $\Gamma\Gamma$ ц, мощность на выходе не менее 15 мВт, потребляемая мощность около 3 Вт, полоса УПЧ не превышает 1  $\Gamma\Gamma$ ц.

В конце 1993 года были проведены первые международные сравненя комплекса, состоящего из сканирующей антенной системы и микроволнового радиометра, выполненного по супергетеродинной схеме, с радиозондами и привязными аэростатами. С 1994 по 2000 гг. был проведён цикл международных сравнений с высотными мачтами (Цукуба, Япония; Боулдер, США; Обнинск, Россия), привязными аэростатами (ст. Покер-Флат, США; Рим, Италия), радиозондами (п. Кларо, Швейцария; ст. Конкордия, Антарктида), лидарами (Цукуба, Япония). Некоторые результаты сравнений приведены в таблице 1.

Таблица 1 Результаты сравнений микроволнового температурного профилемера

Год	Город, страна	Число профилей	CKO, °C
1993	Кардингтон, Великобритания	13	0,6
1994	Долгопрудный, Россия	71	0,6
1996	Боулдер, США	100	0,7
1999	Обнинск, Россия	453	0,7
2004	Пайерне, Швейцария	63	0,85
2005	Цукуба, Япония	1871	0,77

В результате продолжительных испытаний, эксплуатации и полученного опыта были выявлены следующие недостатки. Из-за высокого уровня шумов гетеродина вблизи частоты генерации, шумы гетеродина, переизлучаясь, попадают на вход приёмника и изменяются во время сканирования прибора, искажая принятый от атмосферы сигнал. Для устранения их влияния был разработан и использован в УПЧ дополнительный 3-х звенный LC-фильтр с частотой среза ниже 80 МГц. Применение данного фильтра полностью устранило влияние переизлучения шумов гетеродина.

Следует заметить, что в радиометре используются элементы, которые в процессе работы нагреваются, вследствие этого характеристики приемника со временем начинают меняться из-за изменения структуры высокочастотных элементов. В нашем случае сильно нагревающимися элементами являются гетеродин и УПЧ, из-за чего нагревется и смеситель. Так, в системе радиометра, построенного на базе супергетеродинного тракта, эти элементы являются самыми ненадежными. Чтобы избежать ошибок, получаемых из-за изменения параметров гетеродина и смесителя, приходилось проводить регулярное техническое обслуживание по настройке и калибровке всей системы. Следующая проблема связана с нестабильностью частоты генерации. Ввиду того, что гетеродины, построенные на диодах Ганна, имеют небольшую добротность, возможно «плавание» частоты генерации. Создание высокодобротного контура требует больших финансовых затрат, а так же тщательного отбора кристаллов, так как не все кристаллы могут создавать требуемую генерацию по мощности. В нашем случае на смеситель подается мощность более 12 мВатт. Настройка такого генератора занимает продолжительное время и требует регулярного обслуживания. Существенным недостатком диодов Ганна является абсолютная непереносимость скачков напряжения, а так же статических разрядов. Поэтому создании радиометра требовалось оборудовать высокостабилизированным источником питания, чтобы исключить вероятность выхода из строя диодов Ганна, а так же всей системы. В радиометре используются балансные смесители для подавления частоты гетеродина, достигающие 20 дБ. Смесительные диоды подключаются навстречу другу и при корректной установке излучение гетеродина через антенну уменьшается на 15-20 дБ. Диоды обладают малыми размерами, клеются на токопроводящий клей. Так как смеситель в процессе работы нагревается, со временем токопроводящий клей меняет свои характеристики, в том числе и сопротивление, из-за чего могут возникать проблемы с изменением коэффициента передачи. В этом же случае через некоторое время смеситель может отклеиться, вследствие чего система выйдет из строя.

На рубеже 20-го и 21-го века СВЧ технологии претерпевают качественный скачок, что благотворно влияет на выпуск новейшей аппаратуры, с улучшенными параметрами. Так на мировом рынке появились малошумящие усилители СВЧ, выполненные на чипах типа СНА2159. СНА2159 является четырехкаскадным, малошумящим усилителем со средним энергопотреблением. Цепь чипа собрана по технологии построения транзистора с высокой подвижностью электронов, на кристалле длинной в 15 мкм при помощи литографии. Диапазон рабочих частот усилителя 55-65 ГГц, коэффициент усиления 20 дБ, коэффициент шума 4 дБ. Использование таких чипов позволило создать трехкаскадный

усилитель СВЧ, и заменить им супергетеродинный тракт в радиометре, тем самым преобразуя его в приёмник прямого усиления. После модернизации радиометра, его структурная схема стала выглядеть как показано на рис. 3.

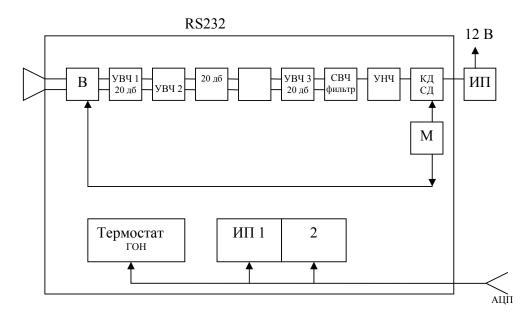


Рис.3. Общая структурная схема метеорологического температурного профилемера на базе приёмника прямого усиления.

где M — модулятор, B — вентиль, VBU — усилитель высокой частоты, CBU-фильтр — узкополосный фильтр, VHU — усилитель низкой частоты,  $K\mathcal{A}$  — квадратичный детектор,  $C\mathcal{A}$  — синхронный детектор, FOH — генератор опорного напряжения,  $AU\Pi$  — аналого-цифровой преобрзователь,  $U\Pi$  — источник питания.

Использование однокристальных усилителей позволило избавиться от большого количества выделяемого тепла, облегчить процесс термостатирования. Благодаря малым уровням шумов появилась возможность сузить полосу приёма и сдвинуть частоту приёма радиометра в район 56 ГГц, что позволило поднять высоту зондирования до 1000 метров.

Микроволновые радиометрические приёмники, описные выше, применяются в метеорологическом температурном профилемере МТП-5. Профилемер был сертифицирован Росгидрометом и Федеральным агентством по техническому регулированию и метеорологии и внесён в государственный реестр средств измерений. Были созданы несколько модификаций прибора: стационарный, полярный, мобильный (рис. 4).







Рис.4. Различные версии микроволновых профилемеров МТП-5: a — стационарная версия,  $\delta$  — полярная версия,  $\epsilon$  — мобильная версия.

Основными частями прибора являются параболическая антенна с шириной основного лепестка диаграммы направленности 2,5° по половинной мощности. Уровень боковых лепестков более 20 дБ. Облучатель представляет собой двухмодовый рупор Томпсона и расположен под углом 90° к антенне. Метеозащитой служит тефлоновый лист. Толщина листа подобрана так, чтобы переотражение сигнала на приёмной частоте были минимальны и не сказывались на измерениях. Сигнал с радиометра поступает на АЦП, после чего подаётся на компьютер. Программное обеспечение управляет всем процессом измерений, калибровок, и контролем оборудования. Пример получаемых данных приведён на рис. 5.

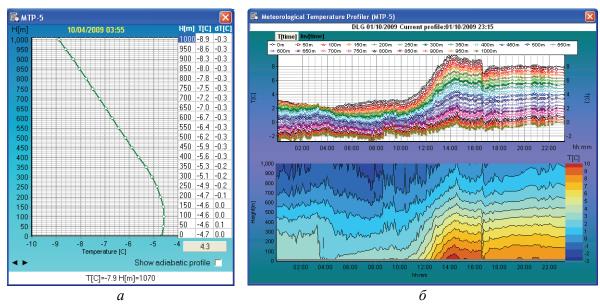


Рис. 5. Пример данных, получаемых с помощью МТП-5: a – профиль температуры, утренняя инверсия;  $\delta$  – суточное движение тепловых полей по слоям

#### Заключение

Ряд аппаратуры для мониторинга атмосферного пограничного слоя постоянно совершенствуется благодаря применению новейших технологий. Микроволновый температурный профилемер МТП-5 на базе радиометрического приёмника прямого усиления является ярким примером использования современных технологий. К его достоинствам относятся стабильная работа, непрерывность измерений, всепогодность, устойчивость к помехам, абсолютная пассивность в радиоизлучении, автоматический режим работы, включая калибровку, а также компактность и мобильность. К недостаткам следует отнести ограниченную высоту зондирования (1000 м) и недостаточно высокое вертикальное разрешение по сравнению с радиозондами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Kadygrov E.N. Operational aspects of different ground-based remote sensing observing techniques for vertical profiling of temperature, wind, humidity and cloud structure: a review. WMO, 2006. IOM Report № 89. WMO/TD N 1309. Geneva, Switzerland. P. 1-34.
- 2. Kadygrov E.N., Pick D.R. The potential for temperature retrieval from an angular-scanning single-channel microwave radiometer and some comparisons with in situ observations. Meteorol. Applicat. 1998. V.5. Iss. 4. P. 393-404.
- 3. Kadygrov E.N., Shur G.N., Viazankin A.S. Investigation of atmospheric boundary layer temperature, turbulence, and wind parameters on the basis of passive microwave remote sensing. Radio Sci. 2003. V. 38. N 3. P. Mar 13-1÷13-12.

- 4. Meeks M.L., Lilley A.E. The microwave spectrum of oxygen in the Earth's atmosphere. J. Geophes. Res. 1963. V. 68. N 6. P. 1683-1703.
- 5. Troitsky A.V., Gaykovich K.P., Kadygrov E.N., Kosov A.S., Gromov V.A. Thermal sounding of the atmosphere boundary layer in oxygen absorption band center. IEEE Trans. Geosci. And Remote Sens. 1993. V. 31. N 1. P. 116-120.
- 6. Ulaby F.T., Moore R.K., Fung A.K. Microwave Remote Sensing, Active and Passive. V. 1. Microwave Sensing. Fundamentals and Radiometry. Reading, M.A.: Addison Wesley, 1981. 543 p.
- 7. Westwater E.R. Ground-based microwave remote sensing of meteorogical variables. Atmospheric remote sensing by microwave radiometry/ Ed. M. Janssen. N.Y.: Wiley, 1993.343 p.
- 8. Башаринов А.Е., Гурвич А.С., Егоров С.Т. Радиоизлучение Земли как планеты. М.: Наука, 1974. 188 с.
- 9. Кадыгров Е.Н. Микроволновая радиометрия атмосферного пограничного слоя метод, аппаратура, результаты измерений// Оптика атмосферы и океана. 2009. Т.22.№7. С.697-703.
- 10. Троицкий А.В. Дистанционное определение температуры атмосферы из спектральных радиометрических измерений в линии  $\lambda = 5$  мм // Изв. вузов. Радиофиз. 1986. Т. 29. № 8. С. 878-887.

# КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОХРАНИЛИЩ

Шикунова Е. Ю., Орлова М. С., Кидяева В. М.

Государственный океанографический институт имени. Н. Н. Зубова, г. Москва

Точная информация о современных морфометрических характеристиках водохранилищ, позволяющая анализировать состояние водоемов и принимать обоснованные решения по вопросам управления и эксплуатации, необходима для повышения эффективности использования водных ресурсов. Для выполнения комплекса работ по уточнению морфометрических характеристик водохранилищ в Государственном океанографическом институте имени Н.Н. Зубова была разработана технология построения цифровой модели рельефа (ЦМР) дна и береговой зоны водохранилищ, основанная на использовании комплекса геоинформационных технологий. Технология предполагает последовательное решение следующих задач: подготовка картографической информации, выполнение промерных работ и камеральная обработка данных, включающая построение ЦМР дна и береговой зоны, а также расчет морфометрических характеристик водохранилища.

Подготовка картографической информации включает следующие этапы: подготовку картографических данных, векторизацию карт и картографическое обеспечение промерных работ. Первоначально было проанализировано картографическое покрытие исследуемой территории, заказаны, отсканированы и географически привязаны топографические карты масштабов 1:25 000, 1:10 000 и листы Атласа Единой глубоководной системы Европейской части РФ. Далее в геоинформационном пакете «Карта-2008» (производство – КБ «Панорама») была проведена векторизация следующих тематических слоев: береговая линия водоемов, контуры островов, изолинии рельефа, отметки уреза воды и отметки глубин по данным Атласа ЕГС. На основе полученных векторных данных в программных продуктах Global Mapper v. 10.0, ArcGIS ArcMap v.

3.2a, 9.3.1, Ozi Explorer v. 3.95.4q были подготовлены подробные карты водоемов и разработаны схемы промеров для эхолотов.

Батиметрическая съемка водохранилища проводится по поперечным галсам, интервал между которыми составляет 250-500 м, при необходимости также назначаются продольные промерные галсы. Съемка выполнялась экспедиционным отрядом ГОИНа с использованием специализированного программного комплекса, включающего эхолот, GPS и персональный компьютер. Функциональные возможности комплекса позволяют одновременно определять географические координаты, измерять глубину в точке и отображать полученную информацию на мониторе. В процессе работ также фиксировалось время начала и окончания каждого промерного галса для привязки уровня воды по существующим гидрологическим постам на водохранилище, оценивалось расстояние до берега от крайней точки промерного галса [1]. Общая протяженность промерных галсов по Волгоградскому, Горьковскому, Угличскому, Икшинскому, Пестовскому, Пяловскому, Учинскому, Клязьминскому и Химкинскому водохранилищам составила 10900 км (Рис.1), общее количество промерных точек превысило 4,3 млн. Всего промерами было охвачено 5000 км² акваторий водохранилищ, включая более 200 устьевых участков впадающих рек.

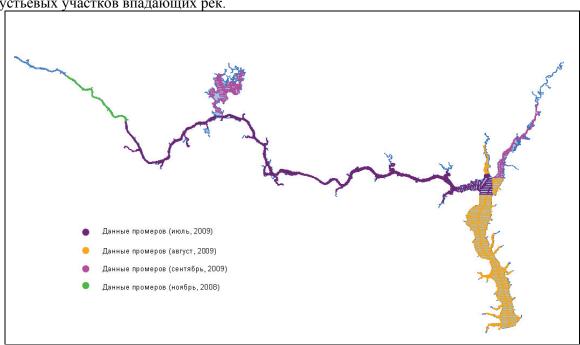


Рис. 1. Схема батиметрической съемки Горьковского водохранилища

**Камеральная обработка данных** включает следующие этапы: обработка данных промеров, уточнение картографических данных по материалам промерных работ, построение частных сеток методом Сибсона (Natural Neighbor), совмещение частных сеток в результирующую ЦМР и расчет морфометрических характеристик водохранилищ.

Обработка данных промеров осуществляется с помощью геокалькулятора Photomod и специального программного комплекса, разработанного в ГОИНе и состоит в пересчете координат каждой промерной точки из географической системы координат с параметрами эллипсоида WGS-84 в систему координат Гаусса-Крюгера с параметрами эллипсоида Крассовского. Измеренные значения глубины были переведены в абсолютные отметки дна в Балтийской системе высот с учетом местоположения промерной точки и отметок уровня воды на ближайших гидрологических постах на дату и время проведения батиметрической съемки.

Далее проводилось уточнение положения береговой линии водохранилищ и контуров островов по данным промерных работ, а в наиболее сложных для промеров участках привлекались данные дистанционного зондирования Земли высокого (2,5 м/пкс) и сверхвысокого (0,6-0,8 м/пкс) пространственного разрешения (Рис.2). Уточненные векторные данные были переведены в точечный формат, после чего был сформирован единый массив точечных данных, содержащий XYZ-координаты каждой промерной точки.

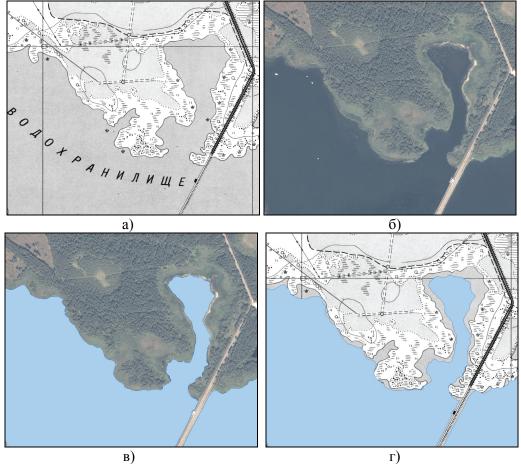


Рис. 2. Уточнение положения береговой линии Пяловского водохранилища а) карта М 1:10 000, б) данные ДЗЗ сверхвысокого пространственного разрешения, в) уточненное положение береговой линии водохранилища по данным ДЗЗ, г) наложение уточненной береговой линии на лист топографической карты.

Для построения ЦМР вся акватория водохранилища была разбита на участки, в каждый из которых входит четыре промерных галса (Рис.3). На каждый участок методом Сибсона (Natural Neighbor) в программном продукте Golden Surfer v.8.0 строится равномерная сетка значений рельефа с учетом всех имеющихся данных (размер ячейки 2x2, 5x5 или 10x10 м. в зависимости от ширины водоема). Параметры анизотропии определяются в соответствии с направлением фарватера на участке между серединными галсами [2].

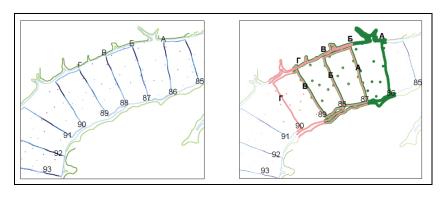


Рис. 3. Схема разбивки территории на участки, содержащие 4 промерных галса для построения частных сеток

Результирующая сетка, представляющая собой ЦМР дна и береговой зоны водохранилища (Рис.4), является итогом совмещения полученных ранее частных сеток.

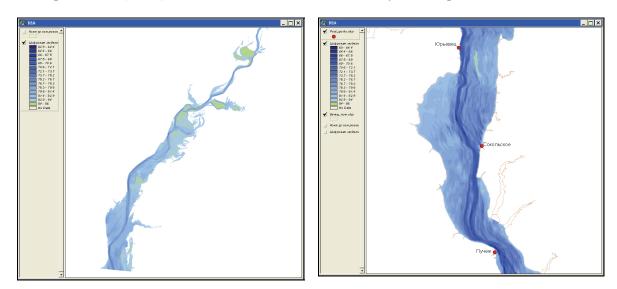


Рис. 4. Примеры ЦМР на участках Горьковского водохранилища

Уточнение морфометрических характеристик на основе ЦМР проводится в разработанной на базе ArcGIS ArcMap v.9.3 специализированной ГИС. Разработанная технология использовалась при работах по уточнению морфометрических характеристик Угличского, Горьковского, Волгоградского водохранилищ и водохранилищ водораздельного бъефа Канала имени Москвы. В результате получены интерполяционные таблицы и построены кривые площадей и объемов для перечисленных водохранилищ (Рис.5).

В результате работ 2008-2009 гг. в ГОИНе была разработана методика комплексного использования геоинформационных технологий для уточнения морфометрических характеристик водохранилищ и создан ГИС-инструмент, который может стать основой для осуществления регулярного мониторинга морфометрических характеристик водохранилищ Волжско-Камского каскада на единой методической основе.

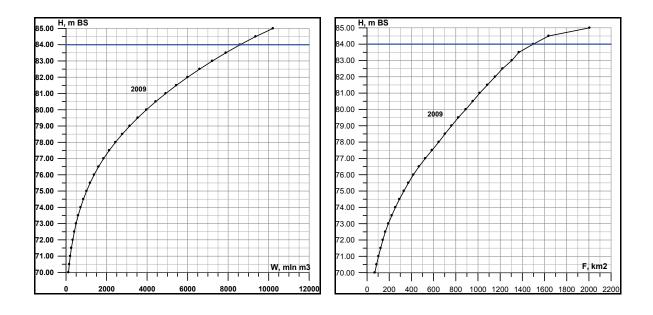


Рис. 5. Кривые зависимости объемов и площадей Горьковского водохранилища от уровня воды по данным 2008-2009 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1. Шикунова Е.Ю. Современные ГИС-технологии как инструмент уточнения морфометрических характеристик водохранилищ Волжско-Камского каскада. Сборник трудов Второй научной конференции молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность». 15-18 декабря 2008г. Москва. С.58-60.
- 2. Землянов И.В., О.В. Горелиц, А.Е. Павловский, Е.Ю. Шикунова. Использование геоинформационных технологий для оценки современных морфометрических характеристик водных объектов. в сб. «Исследования океанов и морей». Тр. ГОИН. Вып. 212. 2009.

#### О ВАРИАНТЕ БИОТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ЭКОМОНИТОРИНГА

**Ширяева А. А., Королева С. Ю., Способина Т. Н., Синицын М. А.** ГУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, г. Москва

Оценка объектов экологического состояния природных (экологическая диагностика), введение допустимых уровней антропогенных воздействий (экологическое нормирование) и выявления последствий различных сценариев воздействия на биоту (экологический прогноз) составляют основные задачи системы экологического контроля. На всей территории России эта система основана на концепции предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ. Нормативы ПДК определяются в условиях в экспериментах на лабораторных тестовых видах по ограниченному набору физиологических и поведенческих реакций. Оценка состояния природных объектов по уровням ПДК является неоправданной экстраполяцией границ толерантности тестовых организмов к отдельным воздействиям на многовидовые экосистемы, где действуют одновременно сложные комплексы факторов разной природы.

Альтернативой методологии ПДК мог бы служить биотический подход, устанав-

ливающий допустимые уровни воздействий на биотическую часть реальных экосистем [1]. Для реализации биотического подхода необходим набор методов оценки состояния экосистем, которые отличают экологически благополучную от такой, в которой произошли существенные изменения, вызванные внешними воздействиями.

Согласно современным представлениям о биологических системах, одной из важных их черт является взаимосвязь между пространственными и временными изменениями их показателей, т.е. единая пространственно-временная организация. Лабильная временная организация участвует в процессах изменчивости биологической системы, подвергающейся воздействиям, и тем самым обеспечивает адаптациогенез системы. Пространственная же организация биологической системы выполняет функцию ее структурно-функциональной стабилизации, ее сохранения даже в условиях действия экстремальных факторов.

Одним из проявлений пространственной организации биологической системы является их топографическая и топологическая гетерогенность, выражающаяся, в частности, в форме градиентов. Степень выраженности градиентов и их связь с временной динамикой процессов в системе изменяются при воздействиях на нее.

Т.о., для контроля за состоянием среды обитания перспективно использовать живые организмы, т.к. при определенном изменении среды система откликается соответствующей "реакцией". Она проявляется либо в количественном варианте (изменение количества тех или иных биохимических компонентов в определенном объеме клетки, изменение степени пространственной ориентации этих биохимических образований), либо в качественном варианте (изменение векторов изменений градиентов концентраций биохимических компонентов, изменение векторов, изменений градиентов степени пространственной организации.).

Подчеркнем, что в системах, где проявляются качественно новые свойства, характерные для нового уровня структурной организации, изучать эти свойства необходимо, не разрушая этой структуры, т.к. свойства структуры, организованной из отдельных макромолекул не являются простой суммой свойств этих макромолекул. Получение разнообразной информации непосредственно из интактных клеток является важной залачей.

Коснемся одного из возможных вариантов реализации данной задачи. Проблемы исследования структуры материи имеют огромное значение для биологии, ибо структура является основой функционирования любой системы, определяя ее разнообразные свойства. Поэтому необходима методология, которая смогла бы обеспечить получение информации о степени упорядоченности живых структур.

Сформулируем основные требования к методам исследования степени упорядоченности. Для этого обратимся к гипотезе стохастической псевдокристалличности, в соответствии с которой структуры рассматриваются как трехмерные случайные поля, обладающие упорядоченностью, степень которой обусловливает свойства и функциональные возможности исследуемых объектов. Структура является основой функционирования любой системы, определяя ее разнообразные свойства. Материальным носителем жизнедеятельности организма является структурная организация живого объекта. Причем индикатором на изменения состояния живой системы, в том числе и при изменении среды обитания, должны явиться динамические изменения ('динамика изменения градиентов, потоков этих изменений, скоростей и направлений) пространственной и временной организации материального носителя "состояния" организма, учитывающего глубокую общность и взаимосвязь морфологии, физиологии и биохимии клетки.

Это означает, что, если разработаны методы и устройства получения информации о неразрушенном объекте по трем координатам, то возможно иметь количественную информацию о свойствах этого объекта. Для живых систем помимо пространственных координат существует и временная.

Т.о. исследования в таком направлении должны располагать методической базой,

которая должна обеспечить выполнение следующих требований: 1) анализ много-компонентных гетерогенных систем, каковыми являются клетки, должен проводиться без их разрушения; 2) необходимо обеспечить получение информации об изменении во времени химического состава, объектов на разном расстоянии от его поверхности (определение динамики изменения градиента концентрации во времени); 3) необходимо обеспечить получение информации об изменении степени организации биополимеров во времени и в пространстве (определение динамики изменения градиента степени пространственной организации); 4) необходимо использовать статистические методы анализа и синтеза, поскольку реальные объекты, как . правило, носят случайный, а не детерминированный характер. Следует особо подчеркнуть, что речь идет о возможности "послойного" анализа многокомпонентных гетерогенных рассеивающих объектов, независимо от их происхождения [1].

#### Методы исследования и результаты

Анализ современных методов исследования показывает, что получение информации о таких сложных объектах, как нативные клетки, перспективно осуществлять через регистрацию изменений параметров электромагнитных излучений при их взаимодействии с объектами исследований. Эти объекты как правило многокомпонентны, гетерогенны, сильно рассеивают свет. Причем анализ их желательно вести по слоям. Наиболее полно в настоящее время отвечают перечисленным выше требованиям методы спектроскопии внутреннего отражения (СВО): если электромагнитная волна (например, свет) распространяется в более плотной среде (измерительный элемент - ИЭ), чем объект исследования, то при отражении от границы раздела этих сред при углах падения, больших критического, волна "заходит" в образец на некоторую глубину и если образец поглощающий, то, регистрируя изменение светового потока (из-за поглощения образцом) на выходе ИЭ-та, получают спектральную характеристику. А на основе спектральных данных можно обеспечить получение информации об определенных изменениях в структурах клетки, т.к. спектральная характеристика связана со строением атомов и молекул и отражает все изменения, происходящие в них в процессе наложения на них внешних разнородных электромагнитных волн или в процессе отдачи ими информации.

Спектральные характеристики, полученные в поляризованном свете, дают к тому же информацию и о преимущественной пространственной ориентации определенных химических связей в макромолекулярных компонентах клетки. Это, в свою очередь, может характеризовать in vivo организованность биосистемы и, соответственно, ее функциональное состояние. Кроме того, методология спектроскопии внутреннего отражения предусматривает ряд аналитических возможностей не только при анализе спектральных характеристик, но и при использовании такого физического параметра как показатель преломления и его дисперсии в области полос поглощения образцами. Все это дает возможность вести анализ не только комплекса биотических показателей, но и тех показателей, которые контролируются в соответствии с химической составляющей программы экологического мониторинга. Так, например, при использовании сорбента при удалении из воды веществ различной природы помимо количественных характеристик поглощения веществ сорбентом необходима информация о природе взаимодействия и состояния адсорбированных молекул, адсорбционных и хемосорбционных комплексов для решения теоретических и практических задач. К таким задачам относятся: исследование механизмов реакций, протекающих на поверхности сорбентов, расчет термодинамических функций адсорбированных молекул, определение способа регенерации или утилизации отработанного сорбента. И в этом случае перспективно использовать методологию СВО.

Формулировку одной из задач по исследованию биологической составляющей с применением методологии CBO можно представить так.

В качестве примера использования для анализа оптических постоянных можно

показать возможность использования изменения показателя преломления для изучения изменения баланса воды в биологических системах. Существует динамическая связь между состоянием воды и физиологическими процессами, протекающими в клетке. Эта связь весьма вариабильна и изменяется при воздействиях на клетку, что усложняет условия и методы ее изучения. Если вести анализ целых клеток в области частот примерно (2000-1800) см<sup>-1</sup>, то выраженных полос поглощения не наблюдается. Предполагается, что именно в этой области частот можно регистрировать изменения внутриклеточного водного баланса по степени смещения основания полос поглощения спектров. Физический смысл этого явления можно объяснить при использовании уравнения для глубины проникновения светового потока в образец для спектроскопии внутреннего отражения (СВО): ец; d -толщина образца) глубина проникновения светового потока определяется из равенства (для простоты воспользуемся приближенным выражением):

$$d_p = \lambda_1 / [2\pi (\sin^2\theta - n_{21}^2)]^{1/2},$$

где dp - глубина проникновения светового потока в образ;  $n_{21} = n_2 / n_1$  - относительный показатель преломления;

 $n_1$  - показатель преломления измерительного элемента (ИЭ) на анализируемой длине волны;

n<sub>2</sub> - показатель преломления исследуемого объема на этой же длине волны;

 $\lambda_1$  - длина волны в среде с показателем преломления  $n_1$ ;

 $\theta$  - угол падения светового потока на рабочую поверхность ИЭ.

Все параметры этого уравнения на определенной длине волны постоянны, кроме одного — показателя преломления клеток. Следовательно, смещение основания полос поглощения спектров может происходить только за счет изменения этого показателя, который определяется, главным образом, водой — основным компонентом клетки с наименьшим показателем преломления. В связи с тем, что изменение «водного баланса» в клетке наблюдается при ухудшении внешних условий, этот показатель может быть использован при оценке экологического состояния окружающей среды. [2]

В качестве примера рассмотрены также возможности экспериментального анализа на примере неразрушенных клеток цианобактерий «по слоям» этим же методом.

Поскольку проведение спектрального анализа неразрушенных клеток «по слоям» является принципиальным методом в исследовании, то помимо теоретической возможности выполнения следует привести экспериментальные доказательства практической реализации такой возможности. С этой целью сформулируем условия, выполнение которых гарантирует однозначность ответа о получении спектральной информации с разных глубин проникновения светового потока в клетку. Эти условия следующие: 1) появление на разных глубинах проникновения светового потока в клетку новых полос поглощения; 2) изменение соотношения полос поглощения, характеризующих определенные биохимические компоненты (что должно свидетельствовать о различии в градиентах концентрации этих компонентов в анализируемых слоях клетки); 3) вариации в дихроичных отношениях интенсивностей полос поглощения на разных глубинах клетки. Выполнение уже одного из указанных условий достаточно для доказательства того, что информация поступает из различных глубин проникновения светового зонда в клетку. Наиболее убедительным доказательством является выполнение всех перечисленных выше условий, что и было сделано на исследуемом объекте. На рис. 1 представлены спектры, подтверждающие данное положение. Так, на глубине 0,25 мкм отсутствует полоса поглощения в области 1240 см<sup>-1</sup>, принадлежащая в основном нуклеиновым кислотам.

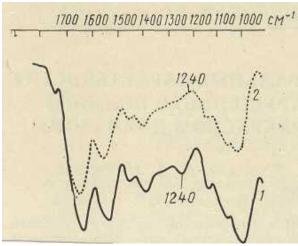


Рис. 1 Пропадание (проявление) полосы поглощения в области  $1240 \text{ cm}^{-1}$ :

1- спектры, полученные на элементе из КО-2, 2-спектры, полученные на элементе из германия

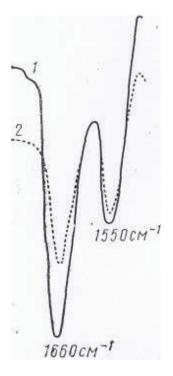
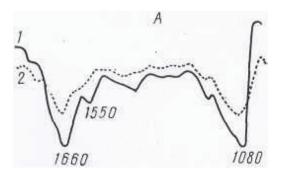


Рис. 2. Различные соотношения полос  $1660 \text{ см}^{-1}$  и  $1550 \text{ см}^{-1}$  : 1 — измерения, выполненные на элементе из КО-2 ( $D_{1660}/D_{1550}=1,4$ ), 2 — измерения, выполненные на элементе из германия ( $D_{1660}/D_{1550}=1,1$ )



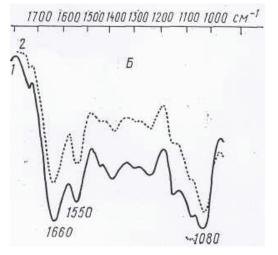


Рис. 3. Спектры клеток цианобактерий: А — характеристики, полученные на элементе из германия; Б — характеристики, полученные на элементе из КО-2:

1- в параллельно поляризованном свете, 2- в перпендикулярно поляризованном свете.

Это подтверждает возможность изучения изменений в структурной организации неразрушенной клетки, а также гетерогенности этой организации в процессе осуществления живой системой своих функций [2].

В настоящей работе помимо теоретической возможности такого анализа показана как и в предыдущем эксперименте практическая ее реализация на неразрушенных клетках цианобактерий.

Были проведены экспериментальная проверка повторяемости результатов и их статистическая обработка.

#### Выводы

Предлагаемые в данной работе методические аспекты дают возможность получать разностороннюю информацию не только при работе с интактными клетками, но и практически с любыми объектами самого различного происхождения, находящихся в любых фазах (твердое вещество, жидкость, газ), что, в частности, необходимо при анализе среды обитания для ее охраны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Королев Ю.Н. Структурно-функциональный анализ интактных клеток методами внутреннего отражения для целей экологического мониторинга. МГУ. 1998.
- 2. Харрик Н. Спектроскопия внутреннего отражения М.: Мир. 1970

### подведение итогов



Круглов А. А. ГУ ААНИИ, г. Санкт-Петербург



Фабричнова Е. А. ГУ ИПГ, г. Москва



Победители конференции Слева-направо: Круглов А. А., Семёнов А. А., Артамонова А. А., Фабричнова Е. А., Важенин А. А., Васильев А. Е.



до Свидания, до новых встреч!

#### **АННОТАЦИИ**

УДК 629.7.067

Оценка потоков релятивистских электронов во внешнем радиационном поясе с учетом поправки на «мертвое время» счетчиков Гейгера. Антипина М. //Труды ИПГ . - 2010, с. 20-24

Используя данные о потоках протонов во внутреннем радиационном поясе, измеренные с борта ИСЗ «Метеор-3М» в течение временных интервалов 20.02.2002-21.02.2002, 25.10.2003-26.10.2003, 28.02.2004-01.03.2004, 10.06.2004-11.06.2004, 19.09.2004-20.09.2004 с помощью сцинтилляционного и трех гейгеровских счётчиков, оценивается «мёртвое время» гейгеровских счётчиков и даётся соответствующая статистика. Приводятся результаты перерасчёта потоков релятивистских электронов во внешнем поясе с учётом поправки на «мёртвое время».

Ил. 6. Табл. 1. Библ. 2

УДК 621.396.+ 550.388

Оценка эффективности моделей процесса распространения декаметровых радиоволн на ионосферных радиотрассах. Батаков А.М.//Труды ИПГ . - 2010, с. 25-27

Предложена аналитическая модель оценки эффективности моделей процесса распространения декаметровых радиоволн на ионосферных радиотрассах. Приведены оценки погрешностей долгосрочного прогнозирования максимальной применимой частоты, что позволяет использовать данные долгосрочного прогнозирования в качестве эталонных.

Ил. 2. Библ. 3.

УДК 52-17

### О применимости функции Чепмена в задачах о поглощении излучения Солнца в атмосфере. Важенин А. А. //Труды ИПГ . - 2010, с. 27-29

При решении задач геофизики и астрономии, связанных с поглощением солнечного излучения атмосферой, зачастую используется функция Чепмена, называемая также «функция скользящего падения». Ее применение связано с рядом упрощающих предположений об атмосфере. Также она имеет ограниченную область применения. Автором настоящей статьи показано, что использование функции Чепмена без ущерба точности вычислений в задачах, связанных с поглощением излучения в атмосфере Земли, возможно до зенитных расстояний не более 85–90°, а для зенитных расстояний, больших, чем 90°, необходимо прибегать к использованию более общих методов расчетов, например, интегрирования вдоль траектории солнечного луча. Ил.3. Библ. 9

УДК 52-17: 52-657: 52-852: 52-366

## Концентрация молекулярного кислорода на высотах 90-120 км по измерениям солнечного УФ-излучения на КА "Коронас-Ф". Важенин А. А. //Труды ИПГ . - 2010, с. 30-36

Определение концентрации молекулярного кислорода на высотах от 90 км и выше – одна из важных задач геофизики, имеющая как научное, так и прикладное значение. Для решения этой задачи может быть использован метод определения концентрации молекулярного кислорода по данным о поглощении УФ излучения Солнца при спутниковых измерениях. В частности, автор настоящей работы использует данные измерений потоков солнечного УФ излучения на борту КА "КОРОНАС-Ф". Показано, что концентрация

молекулярного кислорода на высотах 90–120 км в реальной атмосфере примерно в 1,3 раза больше по сравнению с концентрацией по используемой в расчетах модели Jacchia-77. Также показано, что изменение спектрального состава излучения с уровнем солнечной активности слабо влияет на расчет поглощения солнечного ультрафиолетового излучения в атмосфере Земли на этих высотах.

Ил.9. Библ. 18

#### УДК 551.510.535:629.783

### Возможности оценки полного электронного содержания ионосферы с помощью одиночного GPS/ГЛОНАСС приёмника. Васильев А. Е. Труды ИПГ. - 2010, с. 37-40

В настоящее время разработаны методы определения параметров ионосферы, в частности полного электронного содержания (ТЕС), по данным сети наземных станций приема сигналов навигационных систем.

Однако, для некоторых задач представляет интерес возможность оценки ТЕС по данным одного имеющегося в распоряжении приёмника. Работа посвящена оценке возможности определения полного электронного содержания ионосферы по данным одиночного двухчастотного GPS/ГЛОНАСС приёмника. Рассматривается влияние частотно зависимых задержек обработки навигационных сигналов в аппаратуре спутников и приемников на подобные оценки.

Ил. 4. Библ. 3.

#### УДК 550.388

### Изменение кругосветного эха в результате ядерного взрыва вблизи антипода точки излучения. Васькин А. А., Горенко В. Е. // Труды ИПГ. - 2010, с. 41-46

Рассматриваются данные уникального эксперимента по исследованию свойств кругосветного сигнала в условиях осуществления ядерного взрыва вблизи его антипода. Измерения производились осенью 1971 г. на опытном образце радара, расположенного на Юге Украины. Уникальные технические характеристики радара позволяли осуществлять круглосуточную регистрацию кругосветных радиосигналов на частоте 16 МГц, в том числе за счёт нелинейных эффектов. Приводятся данные о появлении кратных кругосветных сигналов после проведения ядерного взрыва на французском ядерном полигоне, вблизи которого находился антипод радара. Обосновывается гипотеза о том, что появление кратных кругосветных сигналов может быть обусловлено возникновением в результате ядерного взрыва отрицательного возмущения ионосферы, уменьшающего потери энергии кругосветной волны из-за рассеяния на крупномасштабных неоднородностях.

Ил. 4. Библ. 6.

#### УДК 550.385

## Определение ориентации геостационарного спутника «Электро» с использованием модели магнитосферы Алексеева-Калегаева. Воронин А. А. // Труды ИПГ . - 2010, с. 46-50

Данные, полученные с бортовых магнетометров спутника «Электро» значительно отличаются от модельных представлений, возможно, вследствие неточной ориентации самого спутника. Поэтому требуется корректировка данных. Для этого были выбраны магнитоспокойные периоды (в которых значение индекса геомагнитной активности Ар не превы-

шало 7) и, на основе модели геомагнитного поля IGRF, определены углы Эйлера, характеризующие пространственную ориентацию спутника. Углы оказались практически постоянными. Следовательно, ориентация спутника хотя и была неточной, но оставалась постоянной. С использованием более точно описывающей геомагнитное поле на геостационарной орбите модели магнитосферы Алексеева-Калегаева были определены значения вектора магнитного поля в точке стояния спутника за весь период наблюдения. По вычисленным модельным значениям и данным бортовых магнитометрических измерений были рассчитаны углы Эйлера.

Ил. 6. Таб. 1. Библ. 1

#### УДК 550.338.2

### Вариации отношения критической частоты слоя F2для 2200 и 1000 LT. Константинова А. В. // Труды ИПГ . - 2010, с. 50-54

На основании данных 13 станций восточного полушария рассматривались критические частоты слоя F2. Анализировалось отношение ночных и дневных величин критической частоты foF2 для 22 и 10 часов местного времени для двух сезонов. Обнаружена разная зависимость отношения foF2(22)/foF2(10) от солнечной активности в летний и зимний периоды. Было показано, что характер изменения отношения foF2(22)/foF2(10) не зависит от ограничения по Ар индексу магнитной активности для анализируемых дней. После «граничной даты» (примерно 1980 г.) происходит изменение временного хода отношения  $\Delta$ foF2(22)/foF2(10) (наблюдается тренд). Тренд лучше выражен в зимний период, чем в летний. Сопоставление полученных результатов с результатами проведенного ранее Даниловым и Ваниной-Дарт [1, 2] анализа отношения критических частот для 0200LT и 1400LT подтверждает предположение о том, что происходит систематическое изменение горизонтального ветра в верхней термосфере.

Ил. 2. Библ. 4

#### УДК 551.594.1

Исследование связи электрического потенциала высокоширотной ионосферы с вертикальной составляющей приземного электрического поля. Круглов А. А., Франк-Каменецкий А. В. // Труды ИПГ . - 2010, с. 54-59

Проводимые на станции «Восток» в Антарктиде с 1998 г. непрерывные наблюдения атмосферного электрического поля, позволили количественно оценить вклад основных генераторов в величину этого поля. В работе показана линейная зависимость между величиной электрического потенциала в полярной ионосфере, рассчитанного по эмпирической модели Веймара, и вариациями приземного электрического поля, как в среднем, так и для конкретных событий.

Ил 5 Библ 6

УДК 551.1; 548.0: 537

Построение трехмерной модели электрической проводимости в средней мантии на основе на анализа данных с мировой сети наземных обсерваторий.

#### Семёнов А. А., Кувшинов А. В. // Труды ИПГ . - 2010, с. 60-70

В статье представлена численная схема трехмерной инверсии длиннопериодных магнитовариационных данных получаемых на мировой сети геомагнитных обсерваторий. В качестве анализируемых величин выступают С-отклики, а в качестве исследуемого объекта - трехмерное распределение электрической проводимости в средней мантии. Модельные отклики вычислялись в результате решения трехмерной прямой задачи, основанной на методе интегрального уравнения. Для апробации трехмерной инверсии подготовлены экспериментальные С-отклики на более чем 100 среднеширотных обсерваториях в диапазоне периодов между 5 и 100 днями.

Для построения С-откликов использованы среднечасовые данные за 51 год (1957-2007). Ил.7. Библ. 24

#### УДК 523.985-125

### Использование метода скользящей авторегрессии для краткосрочного прогноза индексасолнечной активности F10,7. Сергеев А. Е. // Труды ИПГ . - 2010, с. 70-74

В работе предложен новый подход к краткосрочному (с заблаговременностью от 1 до 30 суток) прогнозированию индекса солнечной активности F10.7. Используя современные возможности вычислительной техники и доступность результатов мониторинга, достигается более точное прогнозирование индекса солнечной активности F10.7. Оценка погрешности краткосрочного прогноза, используя предлагаемый метод, показывает уменьшение среднеквадратичного отклонения, относительно имеющегося метода, до 1,5 раз.

Ил.4. Библ. 8

#### УДК 621.396

## О существовании в области минимума частоты соударений F1-канала сверхдальнего распространения декаметровых волн. Суханов А.М., Абрамов С.В. // Труды ИПГ . - 2010, с. 74-76

Рассматривается гипотеза о существовании канала дальнего распространения радиоволн в ионосфере на высоте минимума числа соударений в области F1. Приводятся экспериментальные данные о распространении трансполярных кругосветных сигналов, подтверждающих данную гипотезу.

Ил.2. Библ. 8

#### УДК 551.510.535:629.783

### Коррекция параметров модели ионосферы IRI 2001 по данным возвратно-наклонного зондирования. Тетерин К. А. // Труды ИПГ . - 2010, с. 76-83

Ввиду распространенности использования эмпирических моделей при осуществлении кв. радиосвязи на дальние расстояния и в задачах обнаружения целей, возникла необходимость адаптации этих моделей к гео-гелиофизическим условиям, чтобы можно

было пользоваться этими моделями в оперативной работе. В качестве эмпирической модели берется модель ионосферы IRI 2001. Один из способов адаптации — коррекция некоторых параметров модели, например числа солнечных пятен и глобального ионосферного индекса. Коррекция в данной статье осуществляется с привлечением данных возвратно-наклонного зондирования.

Ил.6. Библ. 2.

УДК 550.388.2

### Зависимость задержки кругосветных радиосигналов декаметрового диапазона от частоты. Щелкалин А.В. Г // Труды ИПГ . - 2010, с. 83-87

Для моделирования зависимости от частоты задержки сигналов кругосветного эха используется представление о скользящих волновых пакетах на высоте максимума приведенной диэлектрической проницаемости области F2 ионосферы. Аналитические модели профиля электронной концентрации в виде элементарных функций от экспоненциальной функции высоты позволили получить оценку снизу задержки сигналов кругосветного эха. Сопоставление с данными экспериментов позволяет выбрать квадратично-экспоненциальную модель профиля электронной концентрации, поскольку она применима как для скачкового так и для скользящего механизмов распространения радиоволн.

Ил.2. Библ. 6

#### УДК 551.509.3

### О необходимости исследования экономической полезности использования спутниковой информации. Агуренко А.О. // Труды ИПГ . - 2010, с. 88-92

В настоящей статье обсуждается проблема оценивания экономической полезности от использования спутниковой информации. Для этого рассмотрены исторические этапы развития отечественного гидрометеорологического обеспечения и состояние в настоящее время, основные методы оценки экономического эффективности от использования прогностической гидрометеорологической информации и намечены общие пути для развития методов оценивания экономической полезности от использования спутниковой информации.

Ил.1. Табл. 1. Библ. 7

#### УДК 551.508

#### Система грозорегистрации LS8000.Аджиев Х.М. // Труды ИПГ . - 2010, с. 93-101

В 2008г. впервые в России установлена и введена в эксплуатацию грозорегистрационная система LS8000. Система обнаруживает наличие разрядов молний типа облако-земля и межоблачных в детектируемой области радиусом 625км. Регистрация характеристик молний выполняется при помощи сети дистанционных датчиков в низкочастотном (LF) и высокочастотном (VHF) диапазонах. В результате работы были построены графики процентного распределения положительных и отрицательных ударов, а также распределения плотности ударов и вспышек по всей детектируемой области.

Ил. 11. Табл. 2. Библ. 4

УДК 556.51.512

### Интерполяция полей осадков при их наземных измерениях. Алита С. Л., Суслов В. В. // Труды ИПГ. - 2010, с. 101-104

Аналитическое описание полей осадков по данным ограниченного количества осадкомеров имеет чрезвычайно важное значение для практики. В настоящей статье приводится пример интерполяции полей осадков, на основании измерений проведенных на сети плювиографов расположенных в окрестностях города Нальчика. Интерполяция проводилась по трем опорным точкам с последующим сопоставлением расчетных значений слоев осадков с данными непосредственных их измерений плювиографами. Относительная погрешность интерполяции составила около 23 %.

Ил. 1. Табл. 1. Библ. 4

УДК 551.501.81

# Экспериментальное исследование сумм осадков радиолокационно-наземным методом на научно-исследовательском полигоне ВГИ Алита С. Л., Суслов В. В. // Труды ИПГ. - 2010, с. 104-109

В статье описывается автоматизированый радиолокационно-наземный способ получения полей осадков. С помощью локатора и сети плювиографов предполагается исследовать осадки в регионе в весенний, летний и осенний периоды года для различных типов облаков. Для этого был разработан метод стыковки радиолокационных и наземных данных, а также алгоритм получения оптимальных коэффициентов в Z- I соотношении, который реализован в виде программы. Разработана база данных для сбора и систематизации данных.

Ил. 6. Табл. 2. Библ. 5

#### УДК 551.510.42+551.521.1+551.583

## Разработка и реализация методики исследования прохождения солнечного излучения через аэрозольные слои. Андреев Ю. В., Ераньков В. Г. // Труды ИПГ . - 2010, с. 109-115

Представлены результаты апробации методики исследования прохождения солнечного излучения через аэрозольные слои площадью порядка 100 км2, создаваемые в средней тропосфере. Описаны результаты натурного эксперимента по измерению оптических и оценке микрофизических параметров аэрозольных образований и степени ослабления солнечного излучения искусственным аэрозолем с использованием аппаратуры наземного и авиационного базирования.

Ил. 8. Библ. 6

УДК 581.9(26):581.19

### Макрофиты как индикаторы загрязнения природных вод тяжелыми металлами. Балоян С. Б. // Труды ИПГ . - 2010, с. 115-118

Макрофиты, произрастающие в водоемах и водотоках, способны накапливать тяжелые металлы, поступающие с водосбороной площади. Это позволяет использовать накопительную способность макрофитов для биоиндикации тяжелых металлов в системе

мониторинга водоемов и водотоков. Проанализировано избирательное накопление ряда тяжелых металлов, а также особенности их накопления разными видами и разными морфологическими структурами макрофитов.

Табл.2. Библ. 13

УДК 551.510.529

### Исследование процессов массообмена через тропопаузу. Ганьшин А. В. // Труды ИПГ . - 2010, с. 118-124.

Для оценки интенсивности стратосферно-тропосферного обмена (СТО) могут быть использованы потоки через тропопаузу, полученные с помощью модельных расчётов. В данной работе представлена методика исследования СТО с использованием двух подходов: эйлеров подход, основанный на Wei-методе, а также лагранжев подход с использованием траекторий воздушных масс. В итоге произведена оценка потоков через тропопаузу, получен сезонный ход этих потоков, найдены места пересечения тропопаузы воздушными частицами.

Ил. 2. Библ. 6.

УДК 551.583+338(042.3)

### Влияние полетов гражданской авиации на окружающую среду. Дмитриева Т. М. // Труды ИПГ . - 2010, с. 124-132

В данной работе рассматриваются такие виды воздействия гражданской авиации на окружающую среду, как влияние выбросов продуктов сгорания авиационного топлива в двигателях воздушных судов на состав газов и аэрозолей атмосферы, шумовое воздействие и радиационный эффект. Особый акцент сделан на воздействие авиаперевозок на климатическую систему Земли.

Ил. 1. Табл. 4 Библ. 24

УДК 551.551; 551.501

### Лидарное зондирование тропосферного аэрозоля в условиях большого города (г. Москва). Зеленков И. В. // Труды ИПГ . - 2010, с. 132-137

В настоящее время с учетом важности проблем глобальных изменений окружающей природной среды и климата становится весьма актуальной задача организации эффективных систем мониторинга климатообразующих параметров системы Земля-Атмосфера. Для изучения особенностей динамических процессов и аэрозольного загрязнения тропо-стратосферы в условиях большого города (г. Москва), в Институте прикладной геофизики был создан и внедрен аэрозольный лидарный комплекс. В настоящее время произведено уже несколько тысяч сеансов зондирования. Накоплен огромный массив данных профилей получаемого сигнала. Ведется разработка методики обработки данных, необходимой для построения графиков распределения аэрозоля.

Ил. 2. Табл. 1. Библ. 5

УДК 551.583:[551.510.52:551.508.822]

### Анализ климатологических показателей тропопаузы по радиозондовым данным. Козлова Л. Ф. // Труды ИПГ . - 2010, с. 137-143

Работа посвящена анализу некоторых климатических показателей тропопаузы, отражающих её многолетний режим над территорией РФ, на основе массива радиозондовых данных АЭРОСТАБ. Были выполнены расчёты годового хода климатических характеристик тропопаузы за период с 1978-2007 гг. для группы длиннорядных станций РФ. Получены оценки линейных трендов характеристик тропопаузы для каждой из рассмотренных станций. Рассмотрены особенности годового хода трендов. Характер трендов высоты и температуры для нижней границы тропопаузы (полярной) соответствует представлениям о потеплении климата.

Ил. 4. Табл. 1. Библ. 9

УДК 551.510.41/.52.001.572(470.3)

#### Эпизоды высоких концентраций РМ10 в воздухе Москвы. Кузнецова И. Н., Артамонова А. А, Нахаев М. И., Лезина Е. А. // Труды ИПГ . - 2010, с. 143-147

Представлены результаты анализа временных и пространственных распределений концентраций РМ10 летом 2007 г. по данным сети Мосэкомониторинг. В случаях, когда среднесуточные концентрации РМ10 превышали рекомендованный ВОЗ норматив, описываются обусловившие их факторы. Установлено что повышение РМ10 до высокого уровня наблюдается а) при неблагоприятных для рассеивания метеорологических условиях, б) при дальнем переносе примесей.

Ил. 4. Табл. 2. Библ. 3

УДК 551.594.1

## 210Рb и пары радионуклидов для датировки слоев отложений. Кузовкин В. В., Жукова О. М. // Труды ИПГ . - 2010, с. 147-151

За последние 50 лет в связи с развитием атомной энергетики в атмосферу было выброшено значительное количество искусственных радионуклидов. Идентификация ядерного события может быть определена в слоях датированных отложений, датировка отложений необходима также при оценке скорости эрозии почв и потерях плодородного слоя почв. Датировка слоев отложений проводилась по 210Pb. Затем отношения 90Sr/137Cs и 239+240Pu/137Cs использовались для подтверждения датированных событий прошлого.

Ил. 2. Библ. 9

#### УДК 543.27:547.56

# Газохроматографическое определение фенола и хлорфенолов в воде с использованием реакций бромирования и ацетилирования. Левшин Д. Г., Халиков И. С., Запевалов М. А. // Труды ИПГ. - 2010, с. 152-156

В статье рассмотрены вопросы газохроматографического анализа фенола и хлорфенолов в окружающей среде. Хлорфенолы антропогенного происхождения являются приоритетным классом загрязняющих веществ вследствие их высокой токсичности, кроме этого они являются предшественниками чрезвычайно опасных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов.

Для повышения чувствительности анализа предлагается подход, основанный на эффективном использовании реакционной способности фенолов, а именно бромирование и последующее ацетилирование полученных галогенфенолов. В ходе выполнения работы были оптимизированы условия бромирования и ацетилирования и подобраны оптимальные условия выполнения анализа. При использовании данной методики нижний диапазон определяемых содержаний составляет 0,05 мкг/л, что позволяет проводить анализ на уровне десятых долей ПДК.

Ил. 3. Табл. 1. Библ. 11

#### УДК 651.529

### Радиационный мониторинг в Брянском полесье через 21 год после аварии на Чернобыльской АЭС. Манзон Д.А. // Труды ИПГ. - 2010, с. 157-161

В 2008 г. для оценки скорости и значимости вертикальной миграции 137Cs за 20-летний период лабораторией ИГКЭ был проведён радиационный мониторинг и послойный отбор проб. В ходе работы было осуществлено сопоставление данных, получаемых различной измерительной аппаратурой в экспедиции (РКСБ-104 и ДРГ-ОДТ, «Сталкер», полевой гамма-спектрометр «ОRTEC») и на лабораторном гамма-спектрометре «Канберра».

Ил. 2. Библ. 7

#### УДК 551.509.51

## Оценка качества прогноза метеоэлементов городской версией негидростатической модели WRF-ARW на примере г. Москвы. Набокова Е. В., Рубинштейн К. Г. // Труды ИПГ. - 2010, с. 161-166

В работе на основе численных экспериментов проведен анализ прогноза метеоэлементов городской версией негидростатической модели WRF-ARW на примере г.Москвы. Показано, что в базовой версии не описывается характерный для острова тепла ход температуры, а также происходит завышение скорости ветра. Городская версия, включающая в себя две параметризации города - городского пограничного слоя (UCM) и городской застройки (BEP) - не дает улучшения прогноза температуры. Эксперименты с параметризацией ВЕР дают заметно лучший прогноз скорости ветра.

Ил. 5. Табл. 2. Библ. 5.

#### УДК 556.043

### Создание цифровой карты гидрологической изученности Якутского УГМС. Попкова М. В., Шабалина А. В. // Труды ИПГ . - 2010, с. 166-171

В работе рассматривается применение Географических информационных систем (ГИС) для составления карты гидрологической изученности и автоматизированного измерения параметров гидрографической сети Якутского УГМС в целях дальнейшего использования результатов измерений для гидрологических расчетов.

Ил. 3. Библ. 4

УДК 556.542

### Оценка русловых деформаций в нижнем течении р. Терек. Сапожникова А.А. // Труды ИПГ. - 2010, с. 171-175

Автором рассматриваются некоторые аспекты изучения теории русловых процессов. Приведены результаты расчетов стока влекомых наносов, транспортирующей способности потока, и выполнен анализ влияния этих факторов на направленность русловых деформаций в русле магистрального рукава Новый Терек. Выполнена оценка грядового режима движения влекомых наносов.

Ил.4. Табл.2. Библ.5

УДК 553.981.8

### Выбросы парниковых газов от операций с нефтью в России. Уварова Н. Е. // Труды ИПГ . - 2010, с. 176-181

Нефтегазовый комплекс составляет основу энергоснабжения и обеспечивает 75 % общего потребления первичных энергоресурсов в России. Операции с нефтью сопровождаются атмосферными выбросами парниковых газов СО2, СН4 и N2O. Расчет выбросов парниковых газов выполнялся за период 1990 - 2007 гг. включительно на основе методологии Межправительственной группы экспертов по изменению климата, адаптированной для условий России и данных об экономической деятельности в нефтегазовом секторе страны.

Ил. 4. Табл. 1. Библ. 5.

УДК 502.55

### Основные промышленные источники загрязнения бассейна реки Селенга. Фабричнова Е. А., к.т.н. Шеховцов А. А. // Труды ИПГ . - 2010, с. 181-185

В статье рассматриваются промышленные источники загрязнения бассейна реки Селенга, как на территории Российской Федерации, так и на территории Монголии. Приведены основные загрязнители от рассматриваемых источников загрязнения.

Ил. 1 Библ. 4

УДК 621.396.33:528.8

## Комплекс для мониторинга термической стратификации планетарного пограничного слоя атмосферы. Фоломеев В. В., Миллер Е. А., Воробьёва Е. А., Кадыгров Е. Н. // Труды ИПГ . - 2010, с. 185-191

Для мониторинга термического режима атмосферного пограничного слоя (АПС) применяется различная аппаратура, в том числе микроволновые радиометрические приёмники. В данной работе представлено описание микроволновых радиометрических приёмников (радиометров), применяемых для измерения профиля температуры на высотах от 0 до 1000 метров. Приведены примеры различных модификаций профилемеров на базе данных радиометров.

Ил. 5. Табл. 1. Библ. 10.

УДК 556.555

Комплексное использование геоинформационных технологий для уточнения морфометрических характеристик водохранилищ. Шикунова Е. Ю., Орлова М. С., Кидяева В. М. // Труды ИПГ. - 2010, с. 191-195

Для уточнения морфометрических характеристик водохранилищ в Государственном океанографическом институте имени Н.Н. Зубова были разработаны методика и технология построения цифровой модели рельефа (ЦМР) дна и береговой зоны водохранилищ, основанные на использовании комплекса геоинформационных технологий, решающие задачи подготовки картографической информации, выполнения промерных работ и камеральной обработка данных, в том числе построение ЦМР дна и береговой зоны и расчет морфометрических характеристик водохранилища.

Ил. 5. Библ. 2

УДК: 574.64:574.2

## О варианте биотического подхода при осуществлении экомониторинга. Ширяева А. А., Королева С. Ю., Способина Т. Н., Синицын М. А. // Труды ИПГ . - 2010, с. 195-200

Предложена принципиальная схема методического подхода к осуществлению контроля качества среды для решения задач экологического мониторинга, основанная на взаимосвязи между пространственными и временными изменениями биотических параметров, когда предполагается существование причинно-следственной связи между уровнями воздействий на биоту и откликом биоты, что проявляет себя в топографической и топологической гетерогенности, выражающейся, в частности, в форме градиентов указанных параметров.

Ил. 3. Библ. 2.

#### СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА
ЕВГЕНИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ ФЁДОРОВ
Торжественное открытие конференции молодых ученых Росгидромета, посвященной 100-летию академика Е. К. Федорова
Участники конференции
ЧАСТЬ І. ГЕЛИОГЕОФИЗИКА
Антипина М. Д. Оценка потоков релятивистских электронов во внешнем радиационном поясе с учетом поправки на «мертвое время» счетчиков Гейгера
Батаков А. М. Оценка эффективности моделей процесса распространения декаметровых радиоволн на ионосферных радиотрассах
Важенин $A$ . $A$ . О применимости функции Чепмена в задачах о поглощении излучения в атмосфере
Важенин $A$ . $A$ . Концентрация молекулярного кислорода на высотах 90-120 км по измерениям солнечного УФ-излучения на КА «КОРОНАС-Ф»
Васильев А. Е. Возможности оценки полного электронного содержания ионосферы с помощью одиночного GPS/ГЛОНАСС приёмника
Васькин А. А., Горенко В. Е. Изменение кругосветного эха в результате ядерного взрыва вблизи антипода точки излучения
Воронин А .А. Определение ориентации геостационарного спутника «ЭЛЕКТРО» с использованием модели Алексеева-Келегаева
Константинова А. В. Вариации отношения критической частоты слоя F2 для 2200 и 1000 IT
Круглов А. А., Франк-Каменецкий А. В. Исследование связи электрического потенциала высокоширотной ионосферы с вертикальной составляющей приземного электрического поля
Семёнов А. А., Кувшинов А. В. Построение трехмерной модели электрической проводимости в средней мантии на основе анализа данных с мировой сети наземных обсерваторий
Сергеев А. Е. Использование метода скользящей авторегрессии для краткосрочного прогноза индекса солнечной активности F10,7
Суханов А. М., Абрамов С. В. О существовании в области минимума частоты соударений F1-канала сверхдальнего распространения декаметровых радиоволн
Тетерин К. А. Коррекция параметров модели ионосферы IRI 2001 по данным возвратно-наклонного зондирования
<i>Щелкалин А. В.</i> Зависимость задержки кругосветных радиосигналов декаметрового лиапазона от частоты

ЧАСТЬ II. ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
Агуренко А. О. О необходимости исследования экономической полезности использования спутниковой информации
Аджиев X. М. Грозорегистрационная система LS 8000
Алита С. Л., Суслов В. В. Интерполяция полей осадков при наземных измерениях
Алита С. Л., Суслов В. В. Экспериментально еисследование сумм осадков радиолокационно-наземным методом на научно-исследовательском полигоне ВГИ
Андреев Ю. В., Ераньков В. Г. Разработка и реализация методики исследования прохождения солнечного излучения через аэрозольные слои
<i>Балоян С. Б.</i> Макрофиты как индикаторы загрязнения природных вод тяжелыми металлами.
Ганьшин А. В. Исследование процессов массообмена через тропопаузу
<i>Дмитриева Т. М.</i> Влияние полетов гражданской авиации на окружающую среду
Зеленков $И. B.$ Лидарное зондирование тропосферного аэрозоля в условиях большого города (г. Москва)
Козлова Л. Ф. (Бадашова) Анализ климатологических показателей тропопаузы по радиозондовым данным
$K$ узнецова И. Н., Артамонова А. А., $H$ ахаев М. И., Лезина $E$ . А .Эпизоды высоких концентраций $PM_{10}$ в воздухе Москвы
$K$ узовкин В. В., Жукова О. М. $^{210}$ Рb и пары радионуклидов для датировки слоев отложений
$M$ анзон $\mathcal{A}$ . $A$ . Радиационный мониторинг в брянском полесье через 21 год после аварии на Чернобыльской $A$ ЭС.
Набокова Е. В., Рубинштейн К. Г. Оценка качества прогноза метеоэлементов городской версией негидростатической модели WRF-ARW на примере г. Москвы
Попкова М. В., Шабалина А. В. Создание цифровой карты гидрологической изученности якутского УГМС.
Сапожникова А. А. Оценка русловых деформаций в нижнем течении р. Терек
Уварова Н. Е. Выбросы парниковых газов от операций с нефтью в России
$\Phi$ абричнова Е. А., к.т.н. Шеховцов А. А. Основные промышленные источники загрязнения бассейна реки Селенга
Фоломеев В. В., Миллер Е. А., Воробьёва Е. А., Кадыгров Е. Н. Комплекс для Мониторинга термической стратификации планетарного пограничного слоя атмосферы
Шикунова Е. Ю., Орлова М. С., Кидяева В.М. Комплексное использование геоинформационных технологий для уточнения морфометрических характеристик волохранилии

Ширяева А. А., Королева С. Ю., Способина Т. Н., Синицын М. А. О варианте			
биотического подхода при осуществлении экомониторинга			
Подведение итогов	201		
Аннотации	203		

#### Сборник научных трудов

Труды ГУ "Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова" Выпуск 88

100-летию со дня рождения академика Е. К. Фёдорова посвящается

Редактор А. Д. Данилов Технический редактор А. В. Щелкалин Компьютерная верстка А. В. Константинова

Подписано к печати 25. 01. 2010. Тираж 1500 М.: Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Фёдорова, 2010. – 217 с.