

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

Физический факультет



**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ЭКОЛОГИИ
(ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИКА)
№ 11**



МАКС  Пресс
Москва
2003

УДК 53
ББК 20.1
Ф50

Физические проблемы экологии (Экологическая физика): Сборник научных трудов/ Под ред. В.И. Трухина, Ю.А. Пирогова, К.В. Показеева. – М.: МАКС Пресс, 2003. – № 11. – 204 с.
ISBN 5-317-00759-3

Сборник научных трудов третьей Всероссийской конференции «Физические проблемы экологии (экологическая физика)». Рассмотрены вопросы экологии околоземного пространства и верхних слоев атмосферы, экологические проблемы физики Земли, воздействие физических факторов на биологические объекты, прикладные аспекты экологической физики, проблемы экологического образования.

Для специалистов, работающих в области физических проблем экологии, студентов и аспирантов, изучающих экологическую физику.

Издание осуществлено благодаря финансовой поддержке ФЦП «Интеграция» – проект Я0058.

УДК 53
ББК 20.1

ISBN 5-317-00759-3

© Авторы, 2003
© Физический факультет
МГУ им. М.В. Ломоносова, 2003

Введение

3

ТРЕТЬЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ “ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ (ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИКА)”

22–24 мая 2001 г. на физическом факультете МГУ прошла Третья Всероссийская конференция “Физические проблемы экологии (Экологическая физика)”. Конференция была организована физическим факультетом МГУ, Институтом проблем механики РАН, Пушчинским научным центром РАН при поддержке Министерства образования РФ, Минпромнауки РФ, РФФИ, ФЦП «Интеграция».

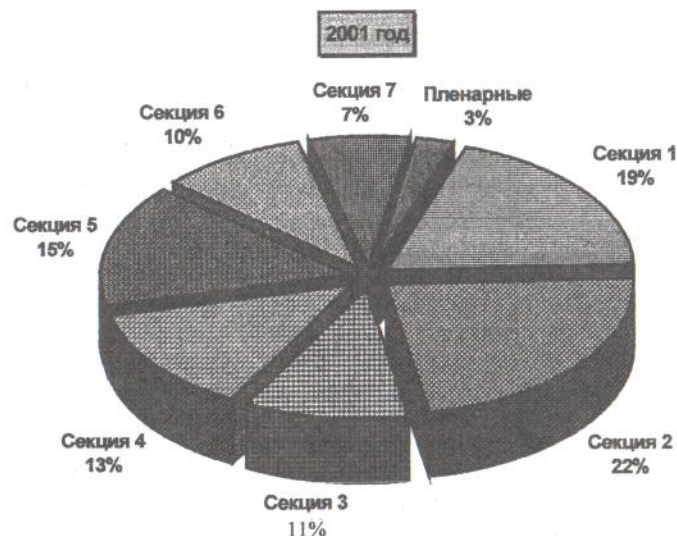
На конференции было представлено 400 докладов, число участников (докладчиков) составило около 800 человек, число гостей – более 200 человек. Хотя конференция носит статус Всероссийской, по сути, она была Всесоюзной, так как в ее работе приняли участие научные работники и преподаватели из ряда стран СНГ, зарубежные гости. Очень широка география участников конференции: тезисы докладов поступили с Сахалина, Алтая, Урала, Украины, Армении; из Владивостока, Иркутска, Новосибирска, Волгограда, Петрозаводска, Петербурга, Калининграда, Львова, Еревана и многих других регионов и городов. Конференция вызвала большой интерес среди ученых-физиков: на приглашение откликнулись сотрудники десятков НИИ РАН, более 50 вузов, другие организации. В работе конференции активное участие приняли сотрудники нескольких факультетов МГУ: географического, биологического, геологического, ВМК, мехмата и другие. Это подчеркивает междисциплинарный характер конференции.

С приветствием к участникам конференции обратились ректор Московского университета академик, сопредседатель Программного комитета конференции В.А. Садовничий и декан физического факультета, сопредседатель Программного комитета конференции В.И. Трухин. Ректор МГУ В. А. Садовничий отметил важную роль, которую играет Московский университет в развитии экологического образования, координации экологических исследований в стране.

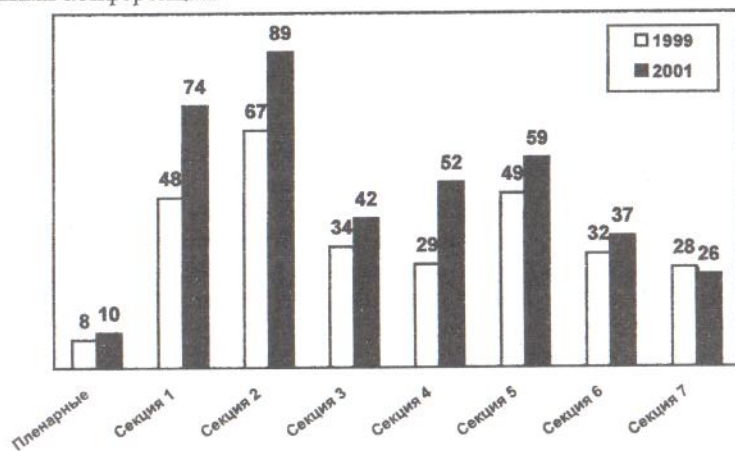
Работа конференции проходила на Пленарном заседании и в 7 секциях:

- Секция 1. Экология околоземного космического пространства и атмосферы.
- Секция 2. Физические проблемы экологии гидросферы.
- Секция 3. Экологические проблемы физики Земли.
- Секция 4. Биофизическая экология.
- Секция 5. Физические методы мониторинга природных сред.
- Секция 6. Прикладные аспекты экологической физики.
- Секция 7. Вопросы экологического образования.

Распределение докладов по секциям приведено ниже.



Работа предыдущей конференции (второй) в 1999 г. проходила по этим же секциям. Анализ докладов первой конференции в 1997 г. показал, что подобное распределение было и на ней. Приведенный ниже рисунок свидетельствует о росте числа докладов практически по всем направлениям и об устоявшемся соотношении между научными направлениями конференции.



По мнению организаторов конференции, все физические и геофизические процессы, влияющие на функционирование экосистем и биосферы в целом, могут быть отнесены к области физических проблем экологии. В соответствии с таким представлением тематика сообщений была очень обширной - она охватывала физические явления от процессов в галактике и околоземном пространстве до молекулярного уровня. Важной чертой конференции явился ее междисциплинарный характер.

В решении конференции отмечена необходимость регулярного проведения таких конференции в дальнейшем и важность расширения экологической компоненты образования, в частности, физиков.

Труды Первой и Второй Всероссийских конференций "Физические проблемы экологии (Экологическая физика)" были опубликованы в специальном выпуске журнала «Вестник Московского университета, серия 3: физика, астрономия», N4, 1998 и в пяти сборниках "Физическая экология (Физические проблемы экологии)" N1-5, Москва, МГУ, физический факультет, 1998, 1999 г.

По материалам Третьей Всероссийской конференции "Физические проблемы экологии (Экологическая физика)" в 2001-2002 годах изданы сборники "Физические проблемы экологии (Экологическая физика)" N6-10. Настоящий сборник "Физические проблемы экологии (Экологическая физика)" N11 завершает публикацию трудов Третьей Всероссийской конференции "Физические проблемы экологии (Экологическая физика)".

Ответственные редакторы
 профессор В.И. Трухин
 профессор Ю.А. Пирогов
 профессор К.В. Показеев

РЕШЕНИЕ ТРЕТЬЕЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ (ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИКА)»

22–24 мая 2001 г. на физическом факультете МГУ прошла Третья Всероссийская конференция «Физические проблемы экологии (Экологическая физика)». Конференция была организована физическим факультетом МГУ, Институтом проблем механики РАН, Пушинским научным центром РАН при поддержке Министерства образования РФ, Минпоромнауки РФ, РФФИ, ФЦП «Интеграция».

Конференция вызвала большой интерес среди ученых-физиков: на приглашение откликнулись сотрудники десятков НИИ РАН, более 50 вузов, другие организации. В работе конференции активное участие приняли сотрудники нескольких факультетов МГУ: географического, биологического, геологического, ВМК, мехмата и другие. Очень широка география участников конференции: тезисы докладов поступили с Сахалина, Алтая, Урала; из Владивостока, Иркутска, Новосибирска, Волгограда, Петрозаводска, Петербурга, Калининграда и многих других регионов и городов, из стран СНГ.

Работа конференции проходила на Пленарном заседании и в 7 секциях:

- Экология околоземного космического пространства и атмосферы.
- Физические проблемы экологии гидросферы.
- Экологические проблемы физики Земли.
- Биофизическая экология.
- Физические методы мониторинга природных сред.
- Прикладные аспекты экологической физики.
- Вопросы экологического образования.

На конференции было представлено 400 докладов, число участников (докладчиков) составило около 800 человек, число гостей — более 200 человек. Для всех секций характерен рост числа докладов, отражающих фундаментальные исследования, имеющие практическую направленность.

К началу конференции физический факультет издал труды предшествующей конференции, учебное пособие «Введение в экологическую геофизику» (авторы В.И. Трухин, К.В. Показеев, В.Е. Куницын, А.А. Шрейдер). Совместными усилиями Тверского госуниверситета и Московского университета им. М.В. Ломоносова развернут новый экологический полигон «Волговерховье», основной целью создания полигона является экологический контроль территории главного водораздела

Русской равнины у истоков крупнейших европейских рек – Волги, Днепра, Западной Двины. В Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова создан Совет по экологии. Практически все решения предшествующей конференции выполнены.

Участники конференции отмечают актуальность и своевременность проведения широкого научного обсуждения проблем экологической физики. Анализ материалов конференции показывает, что в сфере экологических проблем существует обширная область, в решении задач которой физики должны принимать активное участие.

Успешной работе конференции способствовала большая предварительная работа Программного комитета, сотрудников лаборатории экологических проблем геофизики, помощь администрации, инженерно-технических и учебных служб физического факультета, четкая работа Рабочей группы.

Конференция постановила:

- продолжить регулярное проведение конференций по физическим проблемам экологии,
- расширить экологическую компоненту образования при подготовке студентов, в частности студентов-физиков,
- шире оповещать научную общественность о мероприятиях в области экологической физики, проводимых физическим факультетом,
- просить физический факультет МГУ продолжить разработку программы по экологическому обучению студентов физических специальностей,
- просить физический факультет МГУ выступить с инициативой проведения следующей конференции по экологической физике в 2004г.,
- просить физический факультет МГУ организовать издание избранных трудов конференции.

Сопредседатель Программного комитета конференции
ректор МГУ, академик *В.А. Садовничий*

Сопредседатель Программного комитета конференции
декан физического факультета, профессор *В.И. Трухин*

Ученый секретарь Программного комитета конференции, профессор
К.В. Показеев

СЕКЦИЯ 1

ЭКОЛОГИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО
КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА И АТМОСФЕРЫФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Адушкин В.В., Калмыков А.А.

Институт динамики геосфер РАН

Прошлое и нынешнее столетия — столетия все увеличивающихся масштабов вмешательства человечества в природную среду. Происходящее при этом антропогенное изменение окружающей среды часто приводит к просчетам, когда непредвиденное вредное воздействие сводит на «нет» запланированную выгоду.

Геофизическая система реагирует как единое целое на высокоэнергетические природные и техногенные воздействия (землетрясения, вулканические взрывы, промышленные взрывы, запуски ракетно-космической техники, аварии реакторов и т.д.). Весьма опасны не только упомянутые выше мощные воздействия, но и квазистационарные медленные воздействия (строительство крупных промышленных предприятий, горные работы), которые могут вызвать отдаленные катастрофические последствия.

В Институте динамики геосфер РАН в последние десятилетия ведется широкий спектр фундаментальных и прикладных исследований, имеющих экологическую направленность. В этих исследованиях наряду с численными расчетами и компьютерным моделированием используется обширный экспериментальный материал, полученный при инструментальных натурных измерениях на объектах и в конкретных регионах. При исследованиях кроме разработки методик анализа той или иной экологической проблемы привлекаются созданные в Институте расчетные и экспериментальные модели.

Выделим наиболее значимые темы экологических исследований, проводимых в Институте.

Радиоактивное загрязнение Алтайского края от воздушных ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне

При наземных испытаниях ядерного оружия на большие высоты выбрасывается большое количество грунта и пыли, причем, как показал опыт, масса пыли может достигать 0,3 от эквивалента заряда, выраженного в килотоннах. Если частицы пыли размером от 100 мкм до 1 мм выпадают на землю за несколько часов в области с характерным размером в сотни километров, то от 1 до 10 %

пыли, приходящейся на мелкодисперсную фазу (< 10 мкм), может находиться в атмосфере до нескольких месяцев и даже лет. Основная часть радиоактивных веществ (до 60 %) выпадает за счет этой мелкодисперсной фазы.

При первых испытаниях ядерного оружия в нашей стране радиоактивному заражению подверглась территория Алтайского края. С целью детального численного моделирования заражения был взят низковысотный (высота $h = 37$ м) атомный взрыв 1949 года мощностью $Q = 17$ кт и контактный взрыв первого советского термоядерного устройства 1953 года ($h = 33$ м, $Q = 430$ кт). Для описания движения частиц в газодинамическом потоке применялся метод Монте-Карло, где для интегрирования двумерных уравнений газовой динамики использовались численные коды, основанные на расчетах движения очень большого числа частиц, которые в свою очередь являются представителями большого числа пылинок. [Трубецкая И.А., Шувалов В.В., 1994 г.]. Поскольку движение газопылевого облака на поздней стадии после взрыва определяется направлением и силой ветра, турбулентной диффузией и гравитационным осаждением, то в расчетах использовалась К-теория турбулентной диффузии, а также восстановленные ветровые поля по архивным данным.

Расчеты показали, что частицы размером $D > 0,2$ мм выпадают на расстоянии менее $10 \div 20$ км, образуя зону локального загрязнения. Пыль размером

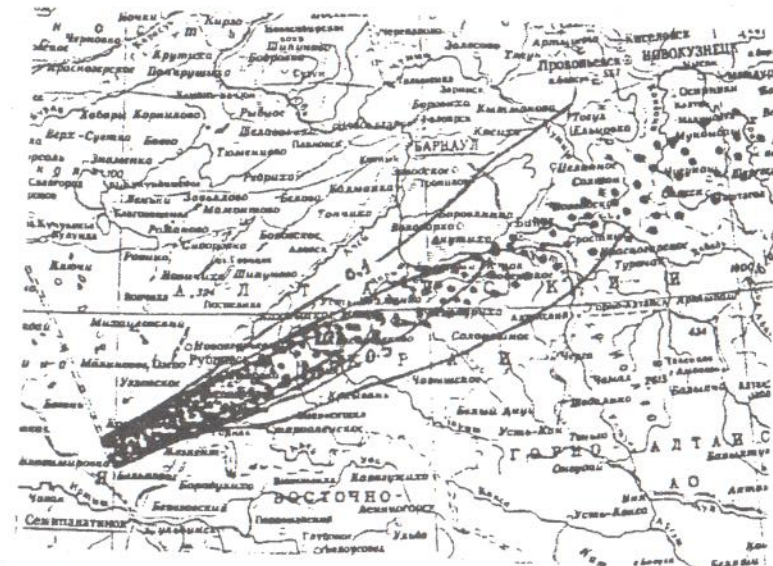


Рис. 1. Расчетное распределение выпавшей пыли (сплошные кривые) и измеренные уровни радиации (точки) в следе первого советского ядерного взрыва

10 мкм $\leq D < 0,1$ мм осаждаются на расстояниях в несколько сот километров, приводя к радиоактивному заражению регионального масштаба. Полное распределение выпавшей пыли на поверхности (для всех D) было нанесено на географическую карту Алтайского края. Имеет место нешлюхое совпадение расчетного распределения выпавшей пыли с измеренными уровнями радиации в следе взрыва (рис. 1).

Аналогичные расчеты были выполнены для термоядерного взрыва 1953 года. Оказалось, что частицы грунта размером больше 0,1 мм, осаждаясь, вызывают локальное загрязнение местности с характерным размером 10-20 км. Выброс в атмосферу частиц $10^{-2} \pm 0,2$ мм приводит к загрязнению регионального масштаба. Распространение субмикронной пыли может приводить или к локальным эффектам при выпадении на больших расстояниях от эпицентра взрыва или к глобальным, так как мелкие частицы способны надолго локализоваться в атмосфере.

Экологические проблемы мирных ядерных взрывов

После заключения Договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, под водой и космическом пространстве на территории России с 1965 по 1988 гг было проведено 122 подземных ядерных взрывов в мирных целях (МПЯВ). Эти взрывы имели различные народно-хозяйственные и научные цели: глубинное сейсмическое зондирование земной коры, интенсификация добычи нефти и притоков газа, создание подземных хранилищ газоконденсата, глушение аварийных газовых фонтанов, дробление рудных залежей и т.д. На рис.2 нанесены на карту места проведения МПЯВ в СССР.

Оценка последствий МПЯВ проводилась на ряде месторождений углеводородов в Астраханской, Пермской и Оренбургской областях и Республики Саха (Якутия), а также на ряде объектов в Пермской области и в Якутии. В результате проведенных исследований, включающих натурные наблюдения, лабораторные модельные эксперименты и обобщение накопленной информации, была проведена оценка последствий взрывов. В зависимости от места и параметров взрыва измерялась микросейсмичность района, бурились скважины, брались пробы почвы и грунтовых вод.

Первые результаты обследования месторождений нефти и газа в России, эксплуатируемых с применением МПЯВ, полученные в начале 90-х годов, показали, что вокруг полостей взрывов существуют относительно обширные ореолы радиоактивного заражения недр и дневной поверхности. Вновь полученные данные свидетельствовали о том, что МПЯВ являются фактором техногенной дестабилизации режима эндогенных и экзогенных геологических процессов в виде аномальных подвижек недр, резких изменений режима флюидодинамических систем, обводнения и радиоактивного загрязнения массивов горных пород и залежей полезных ископаемых, заметных сдвигов в состоянии ландшафтов и экосистем. Оказалось, что на отдельных месторождениях все это в конечном счете обусловило снижение их ресурсного потенциала, нарушило надежность

SU UNDERGROUND NUCLEAR TESTS

(Compiled by B.N. Golubov, 1997.
Source: Ядерные испытания СССР, М, 1997.
Catalogues IUGS, ISC, ECCH)

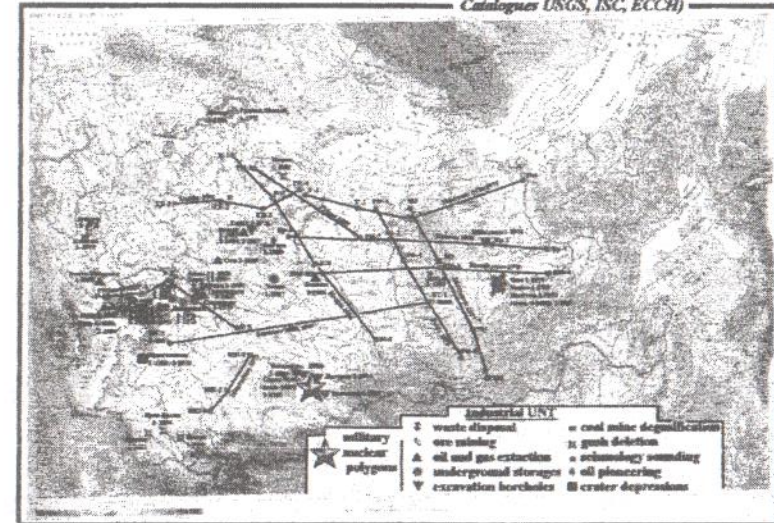


Рис. 2. Карта СССР с нанесенными на ней местами проведения мирных подземных ядерных взрывов. Сплошные линии — профили глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), выполненного с помощью ядерных взрывов

функционирования технологических схем переработки добываемого сырья, осложнило проблему защиты окружающей среды и обеспечения радиационной безопасности.

Таким образом, вновь полученные данные, с одной стороны, привели к необходимости разработки теории стадийности поствзрывных процессов, а с другой, — потребовали организации надежной системы мониторинга состояния недр в зонах МПЯВ на ряде конкретных объектов.

Пылегазовое загрязнение окружающей среды при открытых горных работах

Атмосферные аэрозоли являются важным фактором в процессах взаимодействия в системе литосфера-атмосфера, они влияют на радиационный баланс атмосферы и в конечном счете на климат. Заметный вклад в общий аэрозольный баланс атмосферы дают открытые горные работы. В Институте была разработана методика оценки вклада открытых горных работ в аэрозольный баланс атмосферы на основе анализа данных о пылевыведении при различных технологиче-

ских процессах в горных работах и их объема. [Адушкин В.В., Соловьев С.П., Будников В.А., 1995 г].

Исследование влияния аэрозолей на физические параметры приземного слоя атмосферы проводилось на карьерах Лебединского и Стойленского ГОКов в Белгородской области. При разработке карьеров открытым способом источниками пылевыведения являются: массовые взрывы, бурение и операции, связанные с перемещением горной массы. На долю взрывных работ и экскавацию горной массы в сумме приходится 60-80% от общего количества частиц пыли, поступающих в атмосферу карьеров. В отличие от других источников пылевыведения, массовые взрывы на открытых карьерах сопровождаются образованием мощных газопылевых облаков, высота которых достигает 300-500 м, а в некоторых случаях до 1000 м. Газопылевое облако загрязняет не только атмосферу карьеров, но и обширные территории, прилегающие к карьерам.

В связи с использованием на карьерах крупномасштабных экскавационных химических взрывов желательно заранее прогнозировать все негативные их последствия, включая газопылевое загрязнение региона и атмосферы.

В настоящее время возникает потребность в хорошей теоретической (прогностической) модели таких взрывов, рассматривающей все стадии взрывного процесса от распространения дтонационной волны до образования и подъема газопылевого облака.

Предлагается комплексная модель взрыва химических ВВ, основанная на использовании гидродинамической программы SOVA. [Соловьев С.П., Шувалов В.В., 1999 г].

Эта программа позволяет моделировать в рамках уравнений Эйлера сложные гидродинамические течения с сильными разрывами физических параметров и точным описанием границ между областями с различными физико-химическими свойствами. В данном случае это границы между грунтом, продуктами детонации и воздухом. В модели учитывается действие силы тяжести и стратификация атмосферы, допускается использование различных видов уравнения состояния для продуктов детонации и грунта, а также термодинамических свойств воздуха.

Эта модель была использована для моделирования накладных взрывов 500 т тротила, проведенных в 1985 и 1987 гг. Гранулометрический состав выбрасываемого при формировании кратера грунта определялся в соответствии с экспериментальными данными.

Рассчитанные зависимости радиуса облака взрыва от времени в течение первой секунды неплохо совпали как качественно, так и количественно с экспериментальными данными. На рис. 3 показаны соответственно зависимость высоты подъема облака от времени и зависимость массы пыли, взвешенной в воздухе и отнесенной к массе ВВ.

Приведенные результаты показывают, что численное моделирование позволяет исследовать такие детали взрывных процессов, которые трудно зафиксировать и измерить в эксперименте (например, эволюцию распределения час-

тиц по размерам), однако результаты расчетов сильно зависят от входных параметров, полученных экспериментально.

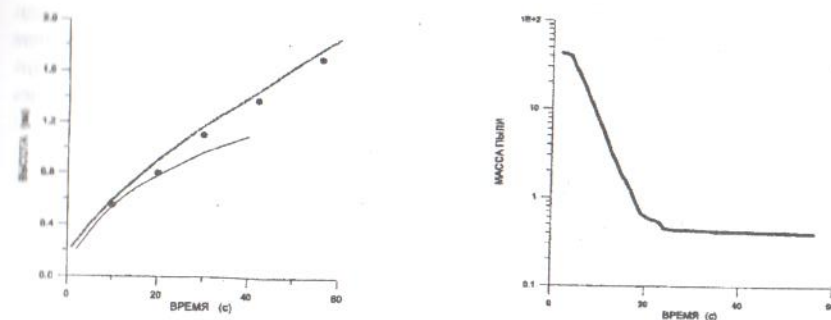


Рис. 3. Слева: зависимость высоты подъема облака от времени. Черная кривая — взрыв 1985 г. (эксперимент), серая кривая взрыв 1987 г. (эксперимент), точки — результаты расчетов. Справа: зависимость массы пыли (отнесенной к массе ВВ), взвешенной в воздухе от времени

Геодинамические аспекты захоронения высокоактивных отходов и обеспечение сейсмоструктурной безопасности при строительстве и эксплуатации атомных электростанций (АЭС)

Одним из главных условий создания подземных хранилищ высокотоксичных и радиоактивных отходов, а также безопасной эксплуатации и строительства атомных электростанций (АЭС), является прогноз современных динамических процессов в земной коре, следствием которых являются различные деформации среды в зоне хранилищ и станций — сотрясения, подвижки, просадки и др. Наибольшая активность этих процессов наблюдается в местах структурно-тектонических нарушений разного иерархического уровня — разломах, зонах дробления, крупных трещинах. Выделение и оценка современной активности структур являются одной из основных задач инженерно-геологических исследований участков размещения этих ответственных объектов.

В ИДГ разработан метод релаксационного контроля для определения устойчивости горного массива на основе регистрации местных микросейсмических колебаний (как фоновых, так и импульсных), характеризующих механическое состояние геологической среды. [Адушкин В.В., Спивак А.А 1994 г].

Основные задачи релаксационного контроля включают в себя разработку геодинамической модели контролируемого участка среды на основе данных,

получаемых в результате изучения реакции среды на естественные возмущения, ранжирование участков массива горных пород и отдельных структурных блоков по степени механической устойчивости, определение геодинамических характеристик контролируемых участков земной коры в процессе строительства и эксплуатации сооружений.

Методом релаксационного контроля были проведены режимные наблюдения за характеристиками микроколебаний на территории ПО «Маяк». На основе расчетной модели релаксационного процесса колебаний было выполнено ранжирование исследованных территорий по динамическим характеристикам с целью выбора перспективных участков строительства хранилищ (рис. 4).

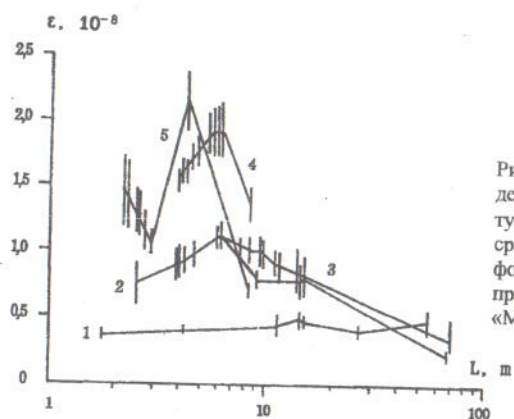


Рис. 4. Величина максимальной деформации ϵ структурных элементов геологической среды разного размера L в фоновых колебаниях. Измерения проведены на территории ПО «Маяк»

На территориях Ростовской и Ново-Варонежской АЭС выявлялись и изучались геодинамические факторы, определяющие механическую устойчивость локальных участков земной коры в районе расположения этих объектов. Выявлялись тектонические зоны в районе объектов, исследовалась их современная сейсмоактивность, сопоставлялись структурные и механические характеристики геологической среды.

Инструментальные методики, разработанные в ИДГ, которыми оснащен мобильный измерительный комплекс релаксационного контроля, позволяют проводить долговременное слежение за современной тектонической активностью указанных территорий.

Сверхглубокое захоронение радиоактивных отходов

Действующая в настоящее время стратегия решения проблемы избавления от высокоактивных ядерных отходов (ВАО) предполагает временное хранение ВАО до тех пор, пока не будут разработаны эффективные технологии их утилизации или долговременного захоронения. Следует заметить, что принципиально

невозможно дать абсолютную гарантию радиационной безопасности в любых проектах длительного хранения ВАО. Поэтому оправдано детальное изучение альтернативной стратегии глубинного безвозвратного захоронения ВАО.

Ключевая идея метода заключается в том, что выделяющаяся при радиоактивном распаде энергия обеспечивает размягчение и плавление окружающих пород, в которых тонут более тяжелые отходы. Суть метода состоит в проведении захоронения ВАО через специально пробуренную скважину с обсадной колонной, заполненной каким-либо химически нейтральным, легкоплавким и недорогим наполнителем. Скважину предполагается пробурить в сейсмически спокойном районе. Глубина ее должна быть достаточной, чтобы уйти за водоносные горизонты. ВАО помещаются в стальные капсулы, диаметр которых в полтора раза меньше диаметра скважины. Такие капсулы одна за другой будут опускаться по скважине к накопительной полости в забое со скоростью около 1 км/год. У накопившихся нескольких десятков капсул температура превысит температуру плавления, капсулы сольются, образуя раскаленную каплю, расплавляющую горные породы и опускающуюся в глубинные структуры литосферы.

Ввиду сложности и ответственности процесса захоронения необходимо не только тщательно исследовать каждую стадию процесса, но и учесть реальную геолого-геофизическую обстановку мест предполагаемого захоронения.

В Институте проведены опыты по моделированию процессов захоронения радиоактивных отходов. [Витязев А.В. и др., 1994 г.]. Идея лабораторного моделирования состоит в имитации радиационного нагрева контейнера с ВАО микроволновым нагревом шара-модели контейнера, помещенного в среду-модель той среды, в которую предстоит погружаться контейнеру. Материалы подбираются таким образом, чтобы имитатор среды был значительно более прозрачен для микроволн, чем шар, обеспечивая равномерный по объему микроволновый нагрев исключительно шара - модели контейнера с ВАО. Схема проведения опыта представлена на рис. 5.

На основании законов подобия выбраны безразмерные параметры, совпадение или близость которых в эксперименте и «in situ» обеспечило физическое моделирование процесса. Они получены в результате анализа системы уравнений, описывающей движение тепловыделяющей массы в плавящейся среде, с переменными, зависящими от температуры, с вязкостью и теплопроводностью. Эта система включает уравнения теплопроводности с тепловыми источниками, обусловленными радиоактивным распадом и вязким трением, Навье-Стокса, непрерывности и состояния. В ходе проведенных опытов решена задача «стеснения» — движения тепловыделяющей капсулы в ограниченной среде, где влияние стенок сказывается на характере движения. Характер движения стесненной тепловыделяющей капсулы существенно отличается от «адиабатического» погружения в стесненных условиях.

Геолого-геофизические характеристики природной среды в местах возможного захоронения представляются из анализа данных бурения глубоких и сверхглубоких скважин, на основании которых будет построена модель среды. Лабо-

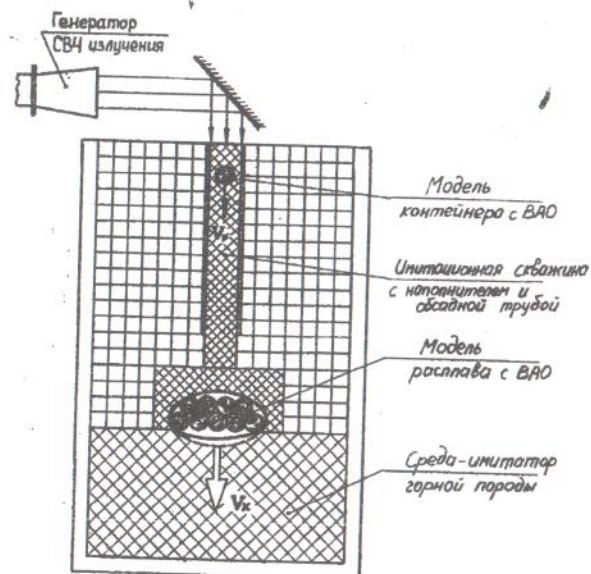


Рис. 5. Блок-схема имитационного эксперимента

раторным путем рассматриваются не поддающиеся теоретическому анализу вопросы, как, например, влияние трещиноватости среды, ее гетерогенности (в частности, присутствие тугоплавких включений) на погружение ВАО. Опыты показывают, что при наличии в среде тугоплавких включений при определенных условиях перед капсулой формируется «пробка», состоящая из них, замедляющая и даже останавливающая движение капсулы. Кроме того, проведены измерения зависимостей от температуры электродинамических свойств модельных сред, которые необходимы для перехода ко второй стадии — образования и эволюции «горячей капли».

Экологические проблемы при воздействии ракетно-космической техники (РКТ) на окружающую среду

Развитие ракетно-космической техники (РКТ) существенно влияет на окружающую природную среду. Этот антропогенный источник затрагивает практически все геосферы, причем его воздействие весьма многообразно: акустическое, тепловое, механическое, химическое и электромагнитное. При функционировании РКТ следует различать две ситуации — нормальную, штатную и нештатную, аварийную, при этом и та и другая несут в себе негативное влияние на среду. В ИДГ исследовались различные аспекты штатной и нештатной работы РКТ.

Особое внимание уделялось поведению озонового слоя и ионосферы Земли в условиях запусков ракетносителей (РН), включая не только их нормальный (штатный) полет, но и взрывы РН. Во время одного из запусков системы «Спейс Шаттл» было зарегистрировано из района запуска увеличение свечения в диапазоне длин волн $\lambda \approx 241 \div 350$ нм, разрушающего озон. Было показано, что искусственное образование, ответственное за этот эффект, должно находиться на высотах $h > 50$ км (озон располагается на высотах $15 \div 30$ км), и, следовательно, на более низкие h данное излучение будет проходить ослабленным. Расчеты, выполненные по созданной аэрономической модели, привели к выводу, что в этих условиях должен наблюдаться рост концентраций O_3 .

По другой ранее разработанной модели, учитывающей более 100 фотохимических процессов для 10 видов заряженных частиц, были проведены оценки поведения O_3 в мезосфере при выбросе в среду продуктов сгорания (ПС) твердых и жидких ракетных топлив. [Смирнова Н.В. и др., 1995]. Как и ожидалось, концентрации O_3 уменьшаются (особенно сильно при полете твердотопливных РН), однако, в целом воздействие имеет локальный и относительно непродолжительный характер.

Хотя поведение ионосферы под воздействием ПС ракетных топлив изучено в целом наиболее полно, тем не менее, остается нерешенным целый ряд вопросов. Один из них — влияние ПС на нижнюю ионосферу. Комплексное рассмотрение данного вопроса было осуществлено по упомянутой выше модели. Независимо от типа РН в нижней ионосфере происходит в основном падение концентрации электронов (при этом наиболее значительное для твердотопливных РН).

Та же модель (с некоторым ее расширением и доработкой) позволила решить и другой важный вопрос — оценить влияние гелиогеофизических условий при запусках ракет на возникающие ионосферные возмущения. Расчеты проводились для одного из аналогов РН «Протон» на высотах областей D, E, E-F, F ионосферы для дневных и ночных условий, минимальной и максимальной активностей Солнца, двух сезонов (зима, лето) в предположении, что этот РН может запускаться с космодромов Куру, Байконур, Плесецк, расположенных соответственно на экваториальных, средних и субавроральных широтах. Результаты расчетов позволили определить «благоприятные» гелиогеофизические условия для запусков РН, когда амплитудные и пространственно-временные характеристики возмущений минимальны. Все это представляет несомненный научный и практический интерес.

Взрывы РН можно по праву отнести к серьезным техногенным катастрофам. К сожалению, в силу многих причин они наименее изучены в общей проблеме воздействий РКТ на окружающую природную среду.

В ИДГ была разработана первая статистическая модель взрывного разрушения космического аппарата (КА). [Козлов С.И., Лосева Т.В., 1999] Из анализа реальной картины взрывов КА следует, что такие параметры как начальное давление, закон изменения давления во времени, характерное время действия нагрузки, а также ряд конструктивных и материаловедческих характеристик КА безусловно должны иметь вероятностный характер. Это предположение было

положено в основу статистического моделирования с помощью метода Монте-Карло. Моделирование позволило рассчитать число осколков в результате взрыва, их относительные размеры и начальную скорость разлета. Полученные результаты имеют существенное значение при оценке засорения космического пространства.

Исследования по указанным направлениям поддержаны грантами РФФИ: 98-05-64851, 99-05-64002, 00-07-90046, 00-05-64147, 00-05-64281.

Литература

1. Трубецкая И.А., Шувалов В.В., 1994, Численное моделирование загрязнений окружающей среды радиоактивной пылью от ядерных испытаний // Динамические процессы в геосферах, Труды ИДГ РАН, стр. 249–259.
2. Адушкин В.В., Соловьев С.П., Будников В.А., 1995 г, Пылевое загрязнение атмосферы от открытых горных работ // Динамические процессы во внутренних и внешних оболочках Земли, Труды ИДГ РАН, стр. 266–271.
3. Соловьев С.П., Шувалов В.В., 1999, Динамические процессы при сильных тротильных взрывах // Физические процессы в геосферах: их проявление и взаимодействие, Труды ИДГ РАН, стр. 369–377.
4. Адушкин В.В., Спивак А.А., 1994, Диагностика локальных участков земной коры на основе данных релаксационного контроля // Динамические процессы в геосферах, Труды ИДГ РАН, стр. 23–39.
5. Витязев А.В., Зецер Ю.И., Монастырский И.Б., Овсянников Г.В. 1994, Использование интенсивного микроволнового излучения для имитации геофизических явлений. Лабораторное моделирование процессов сверхглубокого захоронения радиоактивных отходов // Там же, стр. 300–310.
6. Смирнова Н.В., Козлов С.И., Козик Е.А., 1995, Влияние запусков твердотопливных ракет на ионосферу Земли. // Космич. исслед. Т. 33, № 1, стр. 98.
7. Козлов С.И., Лосева Т.В., 1999 Статистическая модель взрывного разрушения космического объекта. // Тез. докладов II Всеросс. научн. конф. "Физические проблемы экологии (Физическая экология)" 18–21 января 1999. М.: МГУ, стр. 20.

ПОТОКИ КВАЗИЗАХВАЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЯМИ >0.08 МЭВ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Богомоллов А.В.¹, Денисов Ю.И.¹, Колесов Г.Я.¹, Кудрявцев М.И.²,
Логачев Ю.И.¹, Свертилов С.И.¹

¹НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ.

²Институт космических исследований РАН

В работе представлены данные эксперимента «Гриф-1» на модуле «Спектр» космической станции «Мир» по изучению потоков электронов с энергиями > 80 кэВ. Комплекс аппаратуры содержал детекторы с большим и малым геометрическими факторами, что по-

зволило проводить как измерения потоков заряженных частиц в области радиационных поясов Земли, так и измерения малых потоков электронов в областях, близких к геомагнитному экватору. Электроны также регистрировались по вторичному гамма-излучению.

В работе исследуются характеристики потоков электронов в областях $L = 1.4$, $L = 1.7$ и $L = 2.1$, а также на $L < 1.1$, наблюдавшиеся в течение всего времени эксперимента с октября 1995 г. по июнь 1997 г. В качестве причин существования квазистабильных потоков электронов на указанных L могут рассматриваться как «естественные» факторы, связанные с высыпанием частиц из радиационных поясов Земли, так и техногенные факторы (взаимодействие частиц с ОНЧ-излучением мощных радиопередатчиков). Полученные географические карты распределения потоков электронов на высоте полета станции (400 км), а также оценки спектров указывают, что наиболее вероятным источником электронов на $L < 1.4$ является Бразильская аномалия. Однако вопрос о механизмах существования квазистабильных потоков электронов на $L < 1.4$ остается открытым.

Введение

Изучение захваченной радиации важно для понимания процессов в магнитосфере Земли и для решения ряда прикладных задач (например, космической дозиметрии). В ходе многоцелевого эксперимента с комплексом научной аппаратуры «Гриф-1» на борту орбитальной станции «Мир» были получены новые данные о двух слабо изученных популяциях электронов внутренней магнитосферы: электронов с $E_e > 10$ МэВ вблизи Бразильской магнитной аномалии и электронов с энергиями порядка сотен кэВ на низких L -оболочках ($L < 1.2$) под радиационными поясами. Предварительные результаты этого эксперимента были представлены в ряде научных конференций (например, [1]).

Электроны высоких энергий в районе Бразильской аномалии наблюдались в ряде космических экспериментов [2, 3, 4]. До марта 1991 г. стабильные потоки высокоэнергичных электронов ($E_e > 20$ МэВ) во внутренней магнитосфере наблюдались, в основном, в аномалии ($L \sim 1.2-2.0$, $B < 0.27$ Гс) на уровне $\sim 2 \times 10^3 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ ср}^{-1}$ [5, 6]. Наблюдались также возрастания потоков захваченных электронов вследствие магнитных бурь [7]. В результате солнечного события 22.03.1991 г. значительное количество электронов и протонов с энергиями ≥ 10 МэВ было инжектировано в ограниченную область на $L \sim 2.5$ [8,9]. Спектр инжектированных электронов имел максимум при энергиях $E_e = 15$ МэВ, потоки, измеренные на спутнике CRRES были на несколько порядков выше, чем измеряемые в районе аномалии в спокойное время.

Новые данные о потоках электронов на $L < 2$ важны в плане контроля радиационного фона во время космических миссий. Кроме этого, изучение пространственного распределения электронов с энергиями в сотни кэВ на низких высотах важно для понимания динамики радиационных поясов, в частности, электронных высыпаний. Вместе с тем, экспериментов по изучению электронов на малых L под внутренним радиационным поясом мало. Это вызвано небольшими величинами потоков электронов. Зоны высыпаний электронов с энергиями в диапазоне $E_e = 0.19-3.2$ MeV на низких широтах были обнаружены в эксперименте на спутнике OHZORA [10]. Эти зоны соответствуют $L = 1.71 \pm 0.16$ и находятся в области, сопряженной с Южно-атлантической аномалией. Сходные

явления наблюдались на спутнике «Корона-И» [11, 12] в виде максимумов скоростей счета электронов на $L = 1.3, 1.6$ и 2.1 . Авторы получили карту географического положения максимумов на высоте полета спутника 500 км. Однако к настоящему времени нет достаточно полной информации о пространственной структуре потоков электронов малых энергий на меньших L , особенно в районе экватора под радиационными поясами ($L < 1.2$), и об их динамике.

Эксперимент

С октября 1995 г. по июнь 1997 г. на модуле «Спектр» орбитальной станции «Мир» проводился многоцелевой эксперимент «Гриф-1» [13]. Орбита станции имела высоту ~ 400 км, период ~ 90 мин и наклонение $\sim 51^\circ$. Комплекс «Гриф-1» включал два спектрометра заряженных частиц:

1) «Фон-1» ($\Delta E_e = 0.04-0.08, 0.08-0.16, > 0.2$ МэВ; $\Delta E_p = 1.0-1.5, 1.5-3, 0$ эВ; геометрический фактор ~ 80 см²·ср). Прибор состоял из двух идентичных датчиков, представляющих собой тонкий (~ 50 мкм) слой $CsI(Tl)$, напыленный на диск из пластического сцинтиллятора толщиной 0.5 см и диаметром 8 см, просматриваемый одним ФЭУ. Идентификация электронов и протонов осуществлялась путем анализа сигнала от $CsI(Tl)$. Проникающие частицы (электроны с энергией > 200 кэВ и протоны с энергией > 3 МэВ) идентифицировались с использованием антисовпадного детектора из пластического сцинтиллятора. Для выравнивания энергетических потерь в $CsI(Tl)$ частиц одной энергии, входные траектории падающих частиц были ограничены коллиматором (максимальный угол $\sim 60^\circ$).

2) «Фон-2» ($\Delta E_e = > 0.4, > 0.1, 0.3-1.5$ МэВ; $\Delta E_p = 2-5, 5-20, 20-50, 50-100, 100-200$ МэВ; геометрический фактор ~ 0.7 см²·ср). Прибор состоял из двух идентичных пар полупроводниковых телескопов и двух пар счетчиков Гейгера (с уровнями пороговой энергии 0.04 и 0.1 МэВ). Каждый телескоп имел два «тонких» (0.02 см) — « ΔE » и один «толстый» (0.2 см) — « E » кремниевый детектор. Электроны и протоны разделялись с помощью стандартной антисовпадной техники путем « ΔE »/« E » анализа.

Еще один канал информации об электронах связан с регистрацией их тормозного излучения. Для изучения электронов этим способом использовался всенаправленный γ -спектрометр «Нега-1» ($\Delta E_\gamma = 0.05-0.15, 0.15-0.5, 0.5-1.5, 1.5-5, 5-15, > 15$ МэВ; $S_{эфф} \sim 250$ см²). Прибор состоял из 4-х одинаковых блоков. Каждый блок содержал кристалл $CsI(Tl)$ ($\varnothing 10$ см \times 10 см), помещенный в антисовпадный колпак из 2 см пластического сцинтиллятора, просматриваемый тем же ФЭУ. Исключение заряженных частиц (событий, сопровождающихся светом в пластическом сцинтилляторе) осуществлялось путем анализа формы импульса (фосвич). Прибор «Нега-1» позволял изучать электроны больших энергий, вплоть до десятков МэВ. Для адекватного анализа радиационной обстановки на станции «Мир» под радиационными поясами, включающая локальное и наведенное излучение станции и γ -излучение атмосферы Земли. Описание модели приведено в [14].

Датчики приборов «Фон-1» и «Фон-2» были расположены снаружи, а датчики прибора «Нега-1» — внутри модуля. Оси приборов «Фон-1» и «Фон-2» были ориентированы вдоль главной оси станции. Все приборы работали в режиме непрерывных измерений. В большинстве случаев данные о скоростях счета приборов передавались каждые 5 сек., а в некоторых случаях — каждые 0.6 сек.

Результаты

Спектральные и пространственные характеристики электронов вблизи Бразильской аномалии изучались прибором «Фон-2», а также по тормозному излучению прибором «Нега-1». На рис. 1 показаны скорости счета различных параметров приборов «Нега-1» и «Фон-2» 8 января 1997 г. в течение одного витка, проходящего через область Бразильской аномалии. Во время прохождения аномалии наблюдается общее возрастание скоростей счета γ -квантов во всех каналах «Нега-1» (UT ~ 18.35). Однако существует область, где это возрастание наиболее заметно в более жестких каналах, вплоть до > 15 МэВ. На рис. 2 показано географическое положение области повышенной скорости счета γ -квантов в канале > 15 МэВ, а также границы областей значимых потоков протонов (> 100 МэВ) и электронов (0.3–1.5 МэВ) по данным прибора «Фон-2». Области электронов ($L = 1.1-2.2, B < 0.3$ Гс) и протонов ($L = 1.1-1.5, B < 0.24$ Гс) практически совпадают с областями захваченной радиации в районе Бразильской аномалии по данным [15, 16]. Видно, что область возрастания γ -излучения в канале > 15 МэВ (скорость счета $\sim 10^3$ с⁻¹, $L = 1.1-2.2, B < 0.28$ Гс) соответствует зоне энергичных электронов и шире зоны протонов. Это указывает на то, что регистрируемое γ -излучение, по-видимому, обусловлено тормозным излучением электронов с энергией в десятки МэВ, а не распадом π^0 , образующихся при взаимодействиях энергичных протонов в веществе станции [1, 17].

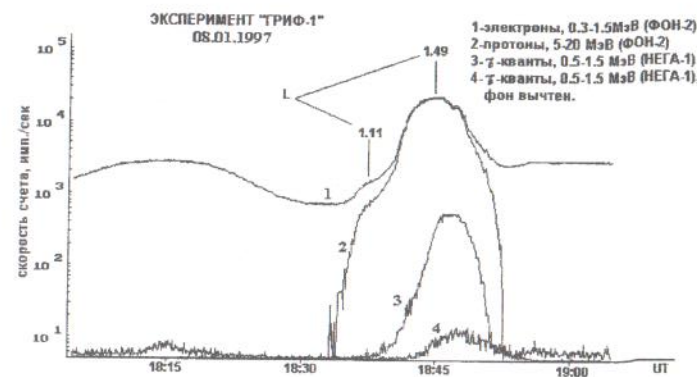


Рис. 1. Скорости счета электронов, протонов и гамма-квантов, измеренные в эксперименте «ГРИФ-1» в районе Бразильской аномалии

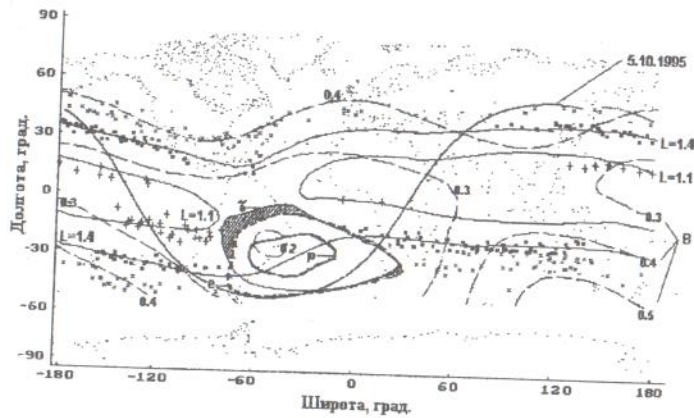


Рис. 2. Географическое положение областей высокоэнергичных электронов, протонов и гамма-квантов в районе Бразильской аномалии, а также зон квазизахваченных электронов на $L = 1.1, 1.4$ и 1.7 . p - скорость счета протонов (>100 МэВ) более $10 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$, данные «Фон-2»; e - скорость счета электронов (0.3 – 1.5 МэВ) более $15 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$, данные «Фон-2»; γ - скорость счета γ -квантов (>15 МэВ) более $300 \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$, данные «Нега-1». Прямые кресты - положение максимумов в скоростях счета электронов по данным «Фон-1» на $L < 1.25$; жирные точки - на $L = 1.25$ – 1.55 ; косые кресты - на $L > 1.55$. Показана траектория станции, соответствующая рис. 3. (5.10.1995), линии равных L (сплошные кривые) и равных значений B (пунктирные кривые)

Основная информация о потоках электронов на $L < 2$ вне аномалии была получена с помощью прибора «Фон-1». Благодаря большому геометрическому фактору ($\sim 80 \text{ см}^2 \cdot \text{ср}$) он имел сравнительно высокую чувствительность: уровень значимой регистрации потоков соответствовал $\sim 1 \text{ част./см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{ср}$.

На рис. 3 показаны скорости счета электронов и протонов, измеренных приборами «Фон-1» и «Фон-2» в течение ~ 1 часа наблюдений 5.10.1995 г. В скоростях счета наблюдается некоторая структура, проявляющаяся в виде максимумов на $L \sim 1.35$ и $L \sim 1.6$. Некоторые из этих максимумов видны также прибором «Нега-1» по тормозному γ -излучению энергичных электронов. Максимумы наблюдались также на больших L . Путем статистического анализа мы выделили 3 группы максимумов, соответствующие $L \sim 1.6$ – 1.8 , $L \sim 1.3$ – 1.5 и $L < 1.2$. Первая группа соответствует зонам высыпаний, наблюдаемых на спутнике OHZORA [10]. Форма событий из 1-й и 2-й групп сходна с формой пиков, измеренных на спутнике «Коронас-И» на $L \sim 1.3$ и $L \sim 1.6$ [12].

Кроме зон высыпаний электронов на $L \sim 1.7$ и $L \sim 1.3$ в нашем эксперименте наблюдались также зоны высыпаний электронов с энергией в сотни кэВ на $L < 1.2$, характеризующиеся меньшими потоками электронов. Области высыпаний сосредоточены в двух географических зонах. Одна из них расположена к северо-западу от Бразильской аномалии. В этой зоне потоки электронов наблю-

даются даже в канале 0.5 – 1.5 МэВ прибора «НЕГА-Г» по их тормозному γ -излучению, что, несомненно, свидетельствует о жестком спектре электронов, вплоть до энергий в несколько МэВ и даже выше. Другая группа пиков находится на долготах 120° – 200° в северном полушарии.

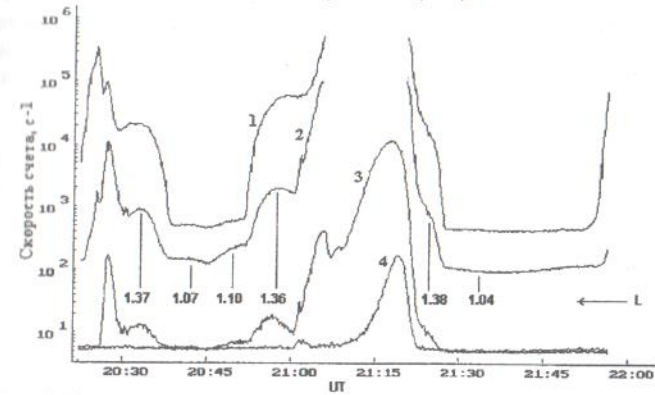


Рис. 3. Зависимость скоростей счета параметров приборов «Гриф-1» от времени (один виток, 5 октября 1995 г.), иллюстрирующая существование повышенных потоков электронов на различных L . 1 — электроны с $E = 0.08$ – 0.16 МэВ («Фон-1»); 2 — электроны с $E = 0.2$ – 0.5 МэВ (Фон-1); 3 — сумма электронов с $E = 0.15$ – 0.3 МэВ и протонов с $E = 2$ – 5 МэВ («Фон-2»); 4 — электроны с $E = 0.3$ – 1.5 МэВ («Фон-2»)

Поскольку область электронов на $L \sim 1.1$ вблизи экватора примыкает к северо-западной части Бразильской аномалии (см. рис. 1 и 2), где электроны с $E_e > 15$ МэВ как раз наблюдаются на $L \sim 1.1$, можно сделать вывод, что обе популяции электронов (на периферии аномалии и в районе геомагнитного экватора) имеют одну природу. Наиболее вероятным источником электронов вблизи экватора может быть высыпание из области аномалии, вызванное диффузионными механизмами.

Возможные механизмы диффузии захваченных частиц обсуждались еще более 30 лет назад [18]. Это, с одной стороны, такие квазирезонансные механизмы, как взаимодействия циклотронного движения с ОНЧ-волнами, осцилляций вдоль силовой линии с микропульсациями, дрейфового движения с повторяющимися вариациями геомагнитного поля. С другой стороны, это стохастические механизмы, такие, как сжатия магнитосферы, вариации электрических полей, а также кулоновские взаимодействия электронов с атмосферой Земли, что обусловлено тем, что радиационный пояс в области аномалии подходит вплотную к атмосфере. В эксперименте не наблюдалось явно выраженной зависимости потоков электронов (или количества наблюдаемых максимумов) ни от местного времени, ни от мирового времени, которая была получена для некоторых L -оболочек в экспериментах на спутниках «Коронас-И» и «Ohzora» [19] и объяснялась рассеянием частиц на мощных ОНЧ-передатчиках. Это еще раз до-

казывает, что наблюдавшиеся в эксперименте «Гриф-1» области повышенных потоков электронов имеют естественное происхождение.

Электроны с энергиями в сотни кэВ не могут существовать стабильно на $L \sim 1.1$, и особый интерес представляет изучение их динамики. Вместе с тем, эти структуры наблюдались (с некоторыми небольшими изменениями) в течение всего эксперимента (~ 2 лет), что означает стабильный характер этих образований. Вероятно, они могут быть расширением зон высыпаний в область малых L . Вопрос об источнике высыпающихся электронов на $L \sim 1.1$ вблизи экватора остается открытым.

На рис. 4 показана зависимость от времени скоростей счета электронов в узкой географической области ($80^\circ \pm 90^\circ$ долготы, $-25^\circ \pm 20^\circ$ широты), соответствующей одному из регионов постоянного наблюдения повышенного счета электронов на $L \sim 1.4$. Очевидно, что наблюдаемая вариация скоростей счета не может быть объяснена только статистическими ошибками (также указанными на рисунке). По всей видимости, изменение потоков частиц может быть связано как с числом частиц в источнике (радиационных поясах), так и с эффективностью механизмов рассеяния электронов, которые могут привести не только к гибели частиц в атмосфере, но и к диффузии частиц на другие L-оболочки. При этом к изменению потоков частиц в конкретной географической области могут приводить как изменения формы радиационных поясов Земли, (например, под действием магнитных неоднородностей в межпланетной среде, типа наблюдавшегося в январе 1997 г. в нашем эксперименте [20]), так и изменения эффективности механизмов накачки частиц на данные L (частицы при отсутствии накачки гибнут, и их поток уменьшается).

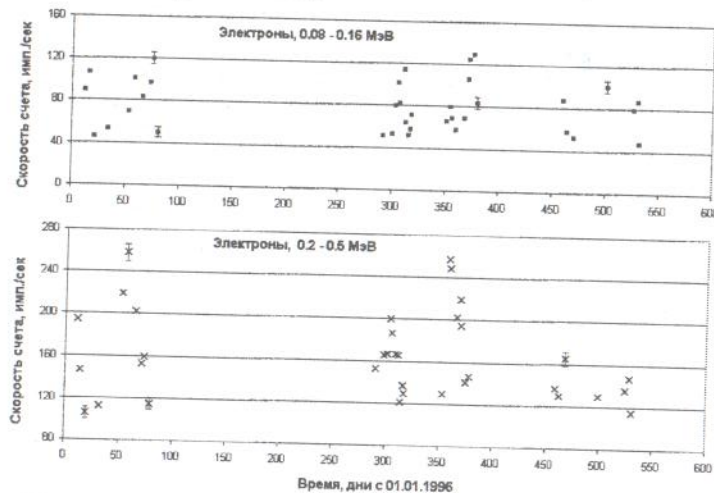


Рис. 4. Зависимость от времени скоростей счета электронов в географической области с координатами: широта от -25° до -20° , долгота от 80° до 90°

Литература

1. Bogomolov, A.V., Bogomolov V.V., Denisov Yu.I. et al. Proc. 25th ICRC. Durban. 1997. V. 2. P. 337.
2. Горчаков Е.В., Иозенас В.А., Терновская М.В. и др. Геомагнетизм и аэронавигация, 1985. Т. 25, С. 738.
3. Курносова Л.В., Разоренов Л.А., Фрадкин М.И. Космич. исслед. 1989. Т. 27. С. 785.
4. Акимов В.В., Воронов С.А., Гальпер А.М. и др. Изв. РАН, Сер. физ. 1993. Т. 57. С. 129.
5. Galper, A.M., Koldashov, S.V., Mikhailov, V.V., and S.A. Voronov Proc. 23 ICRC. Calgary. 1993. V. 3. P. 825.
6. Sinitzina, V.G. Proc. 20 ICRC. Moscow. 1987. V. 4. P. 247.
7. Pfitzer, K.A., and J.R. Winkler. J. Geophys. Res., 1968. V. 73. P. 5792.
8. Blake J.B., STEP International, V. 8, C. 1 (1992).
9. Blake J.B., Kolasinski W.A., Fillius R.W., and Mullen E.G. Geophys. Res. Lett., 1992. V. 19, P. 821.
10. Nagata K., Kohno T., Murakami H. et al. Planet. Space Sci., 1988. V. 36. P. 591.
11. Кузнецов С.Н., Богомолов А.В., Гордеев Ю.П. и др. Изв. РАН. Сер. физ. 1995. Т. 59. С. 2.
12. Kuznetsov S.N., Myagkova I.N. Proc. WDS'98. Prague. 1998. Contributed papers. (ed. J.Safrankova). V. 2. P. 220.
13. Kudryavtsev M.I., Pankov V.M., Bogomolov A.V. et al. Proc. 24 ICRC. Rome. 1995. V. 3, P. 567.
14. Богомолов А.В., Богомолов В.В., Денисов Ю.И. и др. Известия РАН, Сер. физ. 1999. Т. 63. № 8 С. 1665.
15. Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др. Изв. РАН. Сер. физ. 1964. Т. 28. С. 2058.
16. Вернов С.Н., Горчаков Е.В., Шаврин П.И., Шаврина К.Н. Space Sci. Rev., 1967. V. 7. P. 490.
17. Богомолов А.В., Логачев Ю.И., Кудрявцев М.И. и др. Изв. РАН. Сер. физ. 1997. Т. 61. № 6. С. 1130.
18. Редерер Х. «Динамика радиации, захваченной геомагнитным полем». М., «Мир», 1972.
19. Кузнецов С.Н., Мягкова И.Н. Доклад на Третьей Всероссийской научной конференции «Физические проблемы экологии». Москва, 2001 г. Готовится к публикации.
20. Кузнецов С.Н., Богомолов А.В., Денисов Ю.И. и др. Геомагнетизм и аэронавигация, 2000, т. 40, № 3, с. 32–38.

ОБНАРУЖЕНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ В ПОТОКЕ НЕЙТРОНОВ ВБЛИЗИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В.А.Захаров, Б.М.Кужевский, О.Ю.Нечаяв

НИИЯФ МГУ

Проведен Фурье-анализ рядов данных по регистрации нейтронов вблизи земной поверхности. Выявлено существование периодических вариаций, обусловленных динамикой земной коры.

Введение

Наблюдения временного поведения потока тепловых и медленных нейтронов вблизи поверхности Земли, проводимые с 1992 г. в Москве, показали, что поток таких нейтронов испытывает значительные вариации как по величине, так и по длительности. Причиной таких вариаций могут быть как изменяющиеся геофизические условия, так и космофизические изменения в околоземном пространстве и магнитосфере. Эти изменения могут быть периодическими. Так, в геодинамике хорошо известны квазипериодические вариации, вызванные приливной волной [1]. Одним из источников нейтронов вблизи поверхности Земли являются радиоактивные газы, образующиеся в земной коре [2], отсюда следует, что динамические процессы в земной коре должны проявляться в вариациях потока нейтронов. Для поиска и анализа периодических вариаций в потоке тепловых и медленных нейтронов вблизи земной поверхности использовались ряды данных, полученные, как с давно работающей установки, так и с созданной специально в 2001 г. для проверки и подтверждения уже полученных результатов. Экспериментальные данные и их анализ.

Для регистрации нейтронов применялись стационарные детекторы тепловых нейтронов на гелиевых коронных счетчиках СИ-19Н. Установка ДЯИЗА [3] включает нейтронный канал из 40 счетчиков суммарной площадью 2000 см², информация снимается с канала каждую секунду. Секундное временное разрешение позволяет провести лучшую фильтрацию исходных данных, а также, в принципе, регистрировать временной ход событий с малой длительностью.

Установка Нейкор состоит из шести счетчиков, каждый из которых включен на отдельный информационный канал, используемое в первичных данных временное разрешение 1 минута. Площадь установки 300 см². Для анализа использовались временные ряды, полученные с установки ДЯИЗА в августе-декабре 1998 г и с установки Нейкор в апреле-мае 2001 г.

Для временного ряда установки ДЯИЗА распределение секундного счета нейтронов до значения $\Delta N/\Delta t = 8$ хорошо аппроксимируется распределением Пуассона с математическим ожиданием 0.4 нейтр/сек. В дальнейшем анализировался временной ряд данных, удовлетворяющий этому распределению по скорости секундного счета. Случаи большего счета исключались — заменя-

лись нулями. Отфильтрованные таким образом секундные данные суммировались в часовые.

В минутных значениях насчитываемых установкой Нейкор значения каждого канала сравнивались со средним из 20 предшествующих точек и, при отклонении более чем на 3σ , сравнении с остальными пятью каналами выяснялась истинность либо ложность резкого изменения счета. Исправленный ряд, просуммированный по всем счетчикам (каналам) также суммировался в часовые значения.

Проведенный Фурье-анализ этих данных показал наличие гармоник с периодами, которые с точностью до одной или нескольких сотых часа совпадают с периодами гармоник известных в гравиметрии как O1, P1, K1 и/или $\psi 1$, $\mu 2$, M2, $\lambda 2$, $\nu 2$ и/или N2, S2 табл. 1.

Полученный впервые по данным 1998 г на установке ДЯИЗА результат представлен на рис. 1.

Результат, полученный по информации установки Нейкор, которая создавалась целенаправленно для проверки наличия гравитационных гармоник во временных рядах счета нейтронов и связи потоков тепловых нейтронов с деформациями земной коры, подтвердил наличие гравитационных гармоник рис. 2.

Происхождение гармоник с периодом 24^h, соответствующей P1 и кратной ей по частоте гармоник 12^h, соответствующей S2, по всей видимости, сложное, так как солнечно-суточный цикл наблюдается во множестве явлений на Земле, в частности в космических лучах, при этом фаза суточной гармоник, наблюдающейся в поле тепловых нейтронов, совпадает (по данным 2001 г.) с фазой суточной волны на нейтронном мониторе. Гармоники с периодом близким к K1 и $\psi 1$ могут возникнуть из-за модуляции 24-часовой гармоник. Также из рассмотрения следует исключить близкий к 12^h период K2. Однако наибольшие амплитуды в Фурье-спектрах имеют также гармоники и на других частотах приливных гармоник с периодами около суток и полусуток.

Таблица 1. Основные гармоники приливной волны в земной коре [1]. Жирным шрифтом выделены обнаруженные хотя бы на одном ряду гармоник, курсивом — не принимавшиеся в рассмотрение

Символ	Период в часах	Природа	Амплитудный Коэффициент
Q1	26,858	Лунный	7216
O1	25,819	Лунный, основной	37689
P1	24,066	Солнечный, основной	17554
K1	23,934	Лунно-солнечный	53050
$\psi 1$	23,869	Солнечный	423
J1	23,098	Лунный	2964
$\mu 2$	12,872	Лунный	2777
N2	12,658	Лунный	17387

v2	12,626	Лунный	3303
M2	12,421	Лунный, основной	90812
λ2	12,222	Лунный	670
L2	12,192	Лунный	2567
S2	12,000	Солнечный, основной	42286
K2	11,967	Лунно-солнечный	11506

Таким образом, наибольший интерес для рассмотрения представляют максимумы Фурье-спектра близкие к периодам гармоник O1(25.^h82), μ2(12.^h87), M2(12.^h42), λ2(12.^h22), v2(12.^h63) и/или N2(12.^h66). Существенно, что все эти гармоники имеют лунное, а не солнечное происхождение.

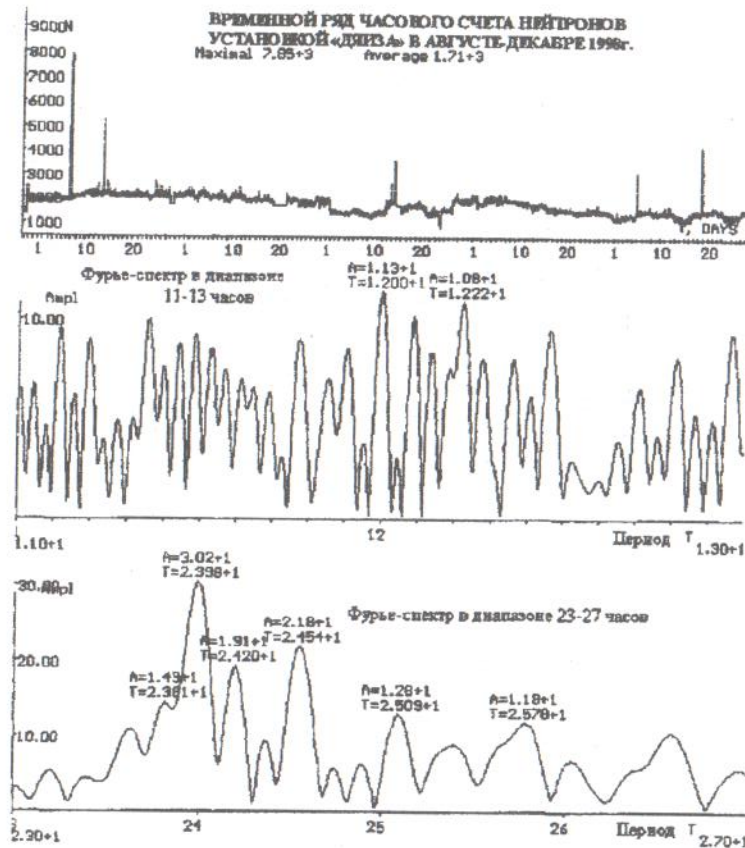


Рис. 1. Данные установки ДЯИЗА и результат Фурье-анализа

Исходя из того, что гармоники искались в диапазонах 11–13^h и 23–27^h (округлив до целых часов), и периоды получены с определенными невязками, можно рассчитать вероятность случайного попадания рассматриваемых гармоник в число наиболее мощных в данном диапазоне. Задача осложнена тем обстоятельством, что присутствуют солнечно-суточная и -полусуточная волны и, их модуляции низкими частотами. Опустив из рассмотрения суточную, полусуточную и ближайшие к ним крупные волны, получим несущественное уменьшение рассматриваемых промежутков Фурье-спектров, которые, несмотря на дальнейшее мультиплексирование вероятностей, не сыграют существенной роли в оценке. Также пренебрежем в оценке тем обстоятельством, что различные гармоники не могут лежать очень близко друг к другу и вместо расчета условной вероятности будем считать попадания независимыми.

В таком случае, вероятность того, что одна из M известных заранее гармоник данного промежутка случайно попадает в число k наиболее мощных на промежутке длиной T₀ с невязкой τ можно оценить как $w_1 = \frac{2\tau}{T_0} kM$, и при указанных выше упрощениях имеем вероятность случайного попадания на нужные частоты $w = \prod w_{1i}$.

Перемножением вероятностей получена оценка случайного попадания на указанные частоты по материалу 1998 г. порядка 1 %, а по материалу 2001 г. порядка 0.15 %. Таким образом, для двух исследовавшихся рядов такая оценка вероятности случайного попадания имеет порядок 10⁻⁵.

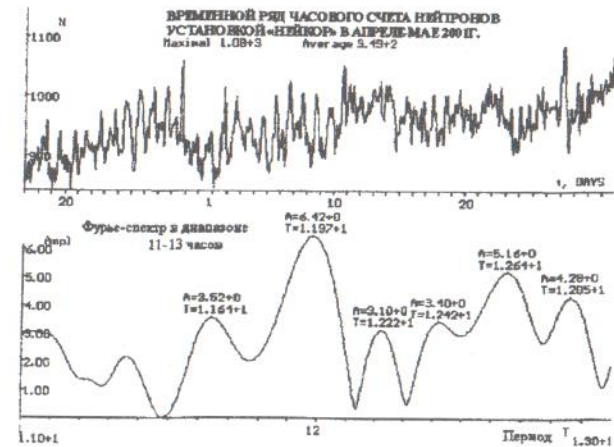


Рис. 2. Данные установки Нейкор и результат их Фурье-анализа

Полученные величины Фурье-амплитуд примерно одинаковы и составляют около 1% от среднечасового значения счета нейтронов, тогда как в действующих на Землю приливных силах амплитудные коэффициенты этих гармоник существенно разные. Выравнивание амплитуд и появление множества новых гармоник адекватно объясняется резко нелинейным откликом нейтронного поля на изменение градиента и наклона вектора гравитационного поля.

Поскольку $A(\varepsilon)$ с хорошей точностью представляется суммой известных гармонических колебаний, появление новых гармоник и «перетекание» амплитуд с одной частоты на другую обусловлено исключительно функцией отклика.

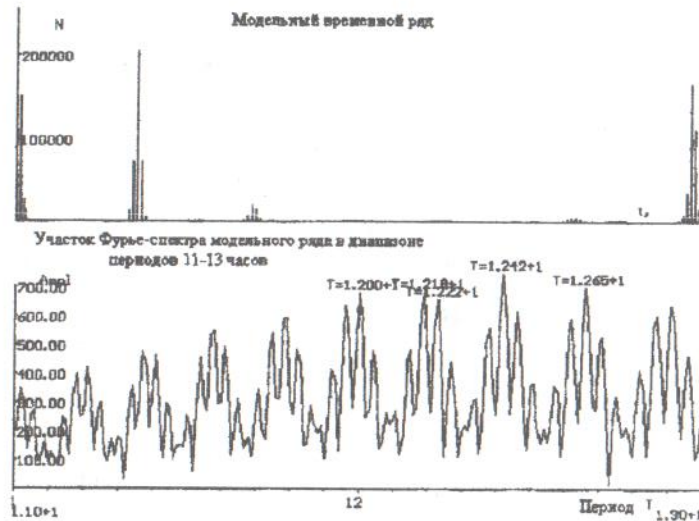


Рис.3. Моделирование нелинейного отклика

Если ввести дополнительное допущение, что отклик мгновенный, то есть не учитывать предшествующие моменты времени: $l_0 - l = 0$, то внутренний интеграл сводится к произведению и функция отклика переходит в величину другой размерности $H(\sigma, l_0)^2$.

Полагая, что исследуемые частоты не являются резонансными, то есть зависимость функции отклика от частоты не имеет на них особенностей, и, опуская в рассмотрении явную зависимость функции отклика A от времени $(o$, остается, как видно из последней формулы, изменение амплитуд на этих частотах за счет зависимости H от воздействия A , что означает нелинейную зависимость отклика нейтронов K от воздействия приливных сил.

Влияние нелинейного отклика на Фурье-спектр ряда было численно промоделировано Рис.3. В качестве воздействия была взята сумма гармоник из Табл.1 с

соответствующими относительными амплитудными коэффициентами, а нелинейность создавалась взятием экспоненциальной функции от суммы синусов нулевой начальной фазой. В полученном таким образом ряде также обнаруживается как выравнивание амплитуд характерных гармоник, так и возникновение множества новых гармоник на других частотах.

Сравнивая этот модельный результат с всплесковым характером нейтронных событий, которые описаны в работах [4-6] и были соотнесены с приливным воздействием, можно заметить, что именно сильная нелинейность отклика может приводить к кратковременным резким увеличениям счета нейтронов. Таким образом, полученные гармонические разложения не противоречат полученным ранее в этих работах результатам а, напротив, подтверждают их результаты по данным длинных временных рядов.

Выводы и заключение.

Физические причины связи счета нейтронов с приливными силами пока не являются твердо установленными.

Можно рассматривать три достаточно крупных посредника между приливными гравитационными полями и нейтронами: магнитосферу, атмосферу и земную кору. Магнитосферная приливная модуляция счета нейтронов, связанная с магнитосферными L-вариациями [7-11], имеет в среднем характер плавной волны и амплитуду в десятки доли процента. В атмосфере имеются гравитационные приливы, но значительно сильнее тепловые, которые связаны только с Солнцем, но не с Луной. Малые амплитуды и, по всей видимости, иной характер приливных вариаций, наблюдаемых на нейтронных мониторах, дополняют соображения, следуя которым в рассмотрение прилагается третий источник - земная кора.

Деформация пород может приводить к их растрескиванию и выходу радиоактивных инертных газов - изотопов радона. Рассмотрение радонового механизма образования нейтронов было предложено после наблюдений нейтронных всплесков на Га-мире [4]. Эта гипотеза представляется на нынешний момент непротиворечивой и достаточной для объяснения связи вариаций тепловых нейтронов с приливными взаимодействиями. Практический интерес данная проблема вызывает в связи с прогнозом землетрясений [12].

Постановка естественно возникающего вопроса о фазах и корреляциях счета нейтронов с силами, возникающими в земной коре, осложнена тем, что в земной коре всегда имеются собственные напряжения, имеющие тензорный характер, а приливные воздействия добавляют к этому тензору различные компоненты. Фактически, чтобы поставить вопрос о соответствии фаз приливных деформаций и счета нейтронов, необходимо из каких-либо соображений выделить тип деформации и ее направление. Поскольку функция отклика нейтронов и одновременно направления и вид деформаций определяющих земноприливные вариации нейтронов неизвестны, описать характер связи нейтронного поля с приливными силами более детально пока нельзя.

Однако из приведенных выше соображений следует, что динамика земной коры отображается во временном ходе потока нейтронов в нижней атмосфере.

В связи с этим исследование вариаций потока тепловых и медленных нейтронов вблизи поверхности Земли может рассматриваться как новый метод изучения динамических процессов в земной коре.

* Авторы благодарны А.В.Копасву за интерес к работе и обсуждению. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №99-05-65526).

Литература

1. Melchior P. The Tides of the Planet Earth. Pergamon Press, Oxford, 1983.
2. Беляева Е.А., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю., Панасюк М.И. Источники нейтронов и природа временных вариаций потока нейтронов вблизи земной коры. В сборнике Физическая экология (Физические проблемы экологии) №4 М. 1999 с 89-96.
3. Б.М.Кужевский, О.Ю.Нечаев, П.И.Шаврин, Е.А.Беляева, И.И.Сироткин. Вариации концентрации нейтронов в поле тепловых нейтронов земной атмосферы. Препринт НИИЯФ МГУ, 1996.
4. Н.Н.Володичев, Б.М.Кужевский, О.Ю.Нечаев, М.И.Панасюк. Резкое возрастание потока нейтронов во время солнечного затмения 22 июля 1990 г. Космические исследования, 1992, т.30, №3, с. 422-424.
5. Н.Н.Володичев, Б.М.Кужевский, О.Ю.Нечаев, М.И.Панасюк, П.И. Шаврин. Всплеск интенсивности нейтронов во время полутеневого лунного затмения 26 июля 1991 г. Космические исследования, 1993, т.31, №4, с. 120-122.
6. Н.Н. Володичев, Б.М.Кужевский, О.Ю.Нечаев, М.И.Панасюк, П.И. Шаврин. Явление возникновения всплесков интенсивности нейтронов во время фаз новолуний и полнолуний. Космические исследования, 1997, т.35, №2, с. 144-154.
7. Л.И. Дорман. Вариации космических лучей и исследования космоса. М., изд. АН, 1963.
8. Б.М. Яновский. Земной магнетизм. Л., 1978.
9. Багте, Биндер. Лунная вариация интенсивности космических лучей. Труды Первой Международной конференции по космическим лучам, т IV, Изд. АН СССР, 1960, с 273-279
10. Г.Ф.Крымский. О лунно-суточных вариациях космических лучей. Труды ЯФ СО АН СССР, сер. физ., вып. 4., Изд. АН СССР, 1962, с 108-110.
11. Л.И.Дорман, Л.Х.Шаташвили. Лунно-суточная вариация нейтронной компоненты космических лучей и вопрос о ее происхождении. Геомагнетизм и аэронавигация. 1961, т. 1, №5, с. 663-670.
12. В.Ф.Остапенко, М.А.Жусупов, В.А.Красноперов, Н.Б.Узбеков, Б.М. Кужевский. Изучение вариаций потока нейтронов в сейсмически активной местности как предвестника землетрясений. Сб. Физическая экология (Физические проблемы экологии), 1999, №5, с. 149-152.

МОДЕЛИ ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ ВЫСЫПАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ

Смирнова Н.В.¹, Ляхов А.Н.¹, Осепян А.П.², Козлов С.И.¹

¹Институт динамики геосфер РАН, Москва, 117334, Ленинский пр-т, 38/6

²Полярный геофизический институт КНЦ РАН, 183023, Мурманск, Халтурина, 15

Введение

Основным источником ионизации высокоширотной ионосферы являются потоки высыпающих энергичных электронов. Их параметры - величина потока, распределение по энергиям и по пич- углам, а также характер вторжения (локальный или охватывающий большой диапазон широт и долгот, кратковременный или длительный) чрезвычайно изменчивы и создают большое разнообразие высотных профилей электронной концентрации $N_e(h)$ и сложную пространственно-временную картину полярных сияний.

Изучение спектров высыпающих частиц важно по многим причинам. Форма спектра и его изменение во времени позволяет идентифицировать зону источника энергичных частиц в магнитосфере в разные фазы суббури и для разных типов полярных сияний. Величина полного потока энергии важна для рассмотрения баланса энергии в атмосфере, а эффекты, вызванные вторжениями частиц - для изучения химии средней и верхней атмосферы.

К настоящему времени благодаря измерениям на ракетах и спутниках накоплен большой экспериментальный материал о параметрах высыпающих энергичных частиц. Однако измерения на ракетах носят эпизодический характер, а использование данных спутниковых измерений осложняется известной проблемой пространственно-временного разрешения данных, которые чаще всего получены для электронов с энергией $E < 30$ кэВ. Отсюда понятно стремление использовать данные наземных измерений ионизации радарными некогерентного рассеяния радиоволн, риометрами и оптическими средствами для выведения параметров высыпающих энергичных электронов и исследования их вариаций в различных гелиогеофизических условиях.

По данным измерений профилей $N_e(h)$ радарными некогерентного рассеяния в Чатангике и в Тромсё разработан ряд методов восстановления спектров высыпающих частиц с энергиями до 15-30 кэВ: UNTANGLE [1], CARD [2], SPECTRUM [3]. В основе всех методов лежит использование уравнения непрерывности для электронов в условиях квазиравновесного состояния.

$$Q(h) = \alpha_{эф}(h) N_e^2(h) \quad (1)$$

$$Q_e(h_i) = \int_E W(E, h_i) f(E) dE \approx \sum_{j=1}^N W(E_j, h_i) f(E_j) \Delta E_j, \quad \text{для } M \text{ высот} \quad (2)$$

Полагая известным высотный профиль эффективного коэффициента рекомбинации, $\alpha_{эф}(h)$, по экспериментальным $N_e(h)$ -профилям рассчитывают высотное распределение скорости ионизации $Q(h)$ и затем, решая (2) методом наименьших квадратов, получают спектр высыпавшихся электронов с $E=1-30$ кэВ. Полученные результаты существенным образом зависят от выбранного профиля $\alpha_{эф}(h)$. Однако $\alpha_{эф}$ на каждой высоте не является постоянной величиной, а зависит от времени суток, сезона и скорости ионизации. В различных геофизических ситуациях его изменчивость на высотах $h < 85$ км достигает более двух порядков величины [4-6]. На больших высотах в полярной области вариации $\alpha_{эф}(h)$ за счет изменения ионного состава, связанного с наработкой NO высыпавшимися электронами и с увеличением T_e , могут достигать порядка величины. Корректный учет вариаций профиля $\alpha_{эф}(h)$ в различных гелиогеофизических условиях может быть сделан только на основе теоретических моделей ионосферы. Еще более очевидна необходимость использования теоретической модели при выведении спектров высыпавшихся электронов на основе оптических данных.

Краткое описание теоретической модели D-области

Для моделирования поведения профилей $N_e(h)$ в условиях вторжения энергичных частиц в полярную ионосферу и оценки спектров высыпавшихся высокоэнергичных электронов мы используем теоретическую модель области D, подробно описанную нами в [7]. Эта модель упрощенного типа включает 4 положительных иона (NO^+ , O_2^+ , $Св_1^+$, $Св_2^+$), 4 отрицательных иона (O_2^- , O^- , CO_3^- , NO_3^-) и электроны. Скорости процессов преобразования положительных ионов NO^+ и O_2^+ (с коэффициентом рекомбинации $\alpha \approx 2 \times 10^{-7} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$) в ионы-связки $Св_1^+$ ($\alpha \approx 2 \times 10^{-6} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$), менее сложных ионов-связок $Св_1^+$ в более сложные $Св_2^+$ ($\alpha \approx 10^{-5} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$), а также первичных ионов O_2^- и O^- в промежуточный ион CO_3^- даны эффективными параметрами V_{NO^+} , $V_{O_2^+}$, $\beta V_{O_2^-}$, V_{O^-} , которые выведены из детальных схем преобразований ионов и содержат зависимости от температуры T , плотности нейтральной атмосферы и концентраций малых нейтральных составляющих (H_2O , NO , O , $O_2(^1\Delta_g)$, O_3 , CO_2). За счет этого обеспечена физическая обоснованность модели при сохранении простоты ее структуры. Последнее в свою очередь важно как для проверки модели по разно-

образным экспериментальным данным, так и для использования ее для оценки спектров высыпавшихся электронов по большим массивам экспериментальных профилей $N_e(h)$, полученных радарными некогерентного рассеяния радиоволн и на ракетах.

В модель включены все известные источники ионизации средней атмосферы в спокойных дневных и ночных условиях, а также за счет высыпавшихся высокоэнергичных электронов, учтены изменения с зенитным углом Солнца χ концентраций важнейших малых нейтральных составляющих и скоростей фотоотлипания электронов от отрицательных ионов, а также скоростей фотодиссоциации отрицательных ионов. За счет корректного учета зависимостей скоростей всех основных процессов преобразований ионов от изменяющихся с сезонном параметров атмосферы (температура, плотность) и концентраций малых нейтральных составляющих, модель, как показано нами в [6-8], воспроизводит известные из анализа многочисленных экспериментальных данных сезонные вариации ионного состава и электронной концентрации в невозмущенной нижней ионосфере, а также во время возмущений, вызванных вторжением высокоэнергичных частиц (АП, ИПШ). Достаточно точно описываются на основе этой модели пространственно-временное распределение аврорального поглощения [9] и особенности изменения поглощающего слоя с сезоном и временем суток [10]. Все это даст нам возможность использовать эту модель для корректного расчета профилей $\alpha_{эф}(h)$ в диапазоне 60-110 км в зависимости от сезона и времени суток и последующего восстановления спектра высыпавшихся электронов с $E > 10-30$ кэВ, а также для разработки иных методик оценки их характеристик.

Краткое описание теоретической модели E и нижней F областей

Модель разработана для авроральных широт для диапазона высот 90 - 220 км. Она базируется на детальных исследованиях [11, 12]. Решается система дифференциальных уравнений для 7 положительных ионов (N_2^+ , O_2^+ , N^+ , $O(^2D)$, $O(^2P)$, $O(^4S)$, NO^+), электронов, 12 возбужденных и малых нейтральных компонентов ($N_2(A^3\Sigma_u^+)$, $N_2(C^3\Pi_u)$, $N_2(B^3\Pi_g)$, $O_2(A^3\Sigma_u^+)$, $O_2(b^1\Sigma_g^+)$, $O_2(^1\Delta_g)$, $O(^1S)$, $O(^1D)$, $N(^2D)$, $N(^2P)$, NO , $N(^4S)$) вида:

$$dn_j / dt = Q_{ej} + Q_{kj} - L_j n_j, \quad (3)$$

где Q_{ej} - скорость образования j-го компонента электронным ударом;

Q_{kj} , $L_j n_j$ - скорости образования и гибели компонента за счет химических и радиационных процессов, значения констант скоростей для которых выбирались на основании критического анализа многих оригинальных и обзорных работ. Для расчета Q_{ej} нами использованы методики [13,14], основанные на результатах статистического моделирования прохождения пучка авроральных электронов через атмосферные газы и хорошо зарекомендовавшие себя для ре-

шения подобного рода задач. К системе уравнений вида (3) добавлены уравнения для расчета температуры электронов T_e и ионов T_i с учетом нагрева потоками высыпавшихся электронов. Расчет фоновой ионизации прямым и рассеянным излучением Солнца, необходимый для моделирования слабо возмущенных условий и обязательный для корректного решения обратной задачи восстановления спектров высыпавшихся электронов, осуществляется по методикам [15,16] с учетом зависимостей интенсивностей во всех диапазонах от солнечной активности.

Модель позволяет рассчитывать интенсивности основных авроральных эмиссий, измеряемых с земли, на ракетах и спутниках (1-я и 2-ая положительные системы N_2 , 1-ая отрицательная система N_2^+ , линии 557,7 нм, 630 нм, 520 нм, 1,27 мкм, 1,04 мкм).

Модель проверена на разнообразных данных одновременных ракетно-спутниковых экспериментов [17,18] и скоординированных спутниковых измерений потоков электронов и измерений $N_e(h)$ радаром ЕИСКАТ [19,20]. В качестве примера на рис.1 дано сравнение результатов расчетов ионного состава и интенсивностей ряда эмиссий с использованием измеренного спектра электронов [17] с данными ракетных измерений [18].

Методы и результаты восстановления спектров электронов

1. На основе созданной теоретической модели D-области с использованием большого массива профилей $N_e(h)$, измеренных ЕИСКАТ- радаром вблизи Тромсе (69.6°N, 19.2°E), разработан метод восстановления спектра и потока высыпавшихся электронов с энергиями $E \geq 10-30$ кэВ [21]. Метод основан на сравнении результатов модельных расчетов высотных профилей N_e , удельного поглощения dA/dh и высоты H_m максимума поглощающего слоя для экспоненциальной $dj/dE = j_0 \exp(-E/E_0)$ и степенной $dj/dE = N_0 E^{-n}$ форм спектра высыпавшихся электронов при типичных для условий аврорального поглощения значениях жесткости спектра $E_0 = 5-40$ кэВ и $n = 5.5-2.6$ с величинами H_m , определяемыми по экспериментальным $N_e(h)$ -профилям для различных сезонов и условий освещенности (зенитных углов Солнца χ)

На рис.2а показаны зависимости между спектральной жесткостью E_0 (кэВ) и высотой максимума поглощающего слоя H_m для двух сезонов и различных углов χ . Кривые 2 и 4, соответствующие зимним и летним условиям при $\chi = 94^\circ$, иллюстрируют влияние сезона, а кривые 1-3 - отличия между дневными ($\chi = 88^\circ$), ночными ($\chi = 130^\circ$) и сумеречными условиями для января. Теоретические кривые согласуются с экспериментальными данными как по диапазону изменения H_m (78-98 км), так и по особенностям изменения H_m с сезоном (большие H_m летом и меньший диапазон их изменений, чем зимой). Видно, что для жестких спектров высыпавшихся электронов (высокие E_0 и малые "n") изменения H_m с зенитным углом и сезоном больше, чем для мягких. Это является следствием проникновения жестких электронов до меньших h, где значительны сезонные

вариации атмосферных параметров и изменения концентрации малых нейтральных составляющих с зенитным углом χ , учтенные в модели D-области.

Полученные модельные кривые могут быть аппроксимированы зависимостями:

$$E_0 = k \exp(-\gamma H_m) \text{ для экспоненциального спектра} \quad (4a)$$

$$n = a H_m^2 + b H_m + c \text{ для степенного спектра} \quad (4б)$$

Коэффициенты k, γ, a, b, c , определенные для различных сезонов и условий освещенности, даны в [21]. С использованием (4а, б) и значений H_m , определенных по 422 экспериментальным профилям $N_e(h)$ для 25 событий АП, установлено, что для вечерне-полуночного сектора характерны высыпания электронов с мягким спектром ($E_0 \leq 19$ кэВ и "n" достигает 5.5), а для утреннего сектора - с жестким спектром (E_0 достигает 40 кэВ, а "n" снижается до 2.7). Этот вывод, как показано в [21], согласуется с данными ракетных и спутниковых измерений спектров высыпавшихся высокоэнергичных электронов.

Характерно, что жесткость спектра ни в вечернем, ни в утреннем секторе не зависит от сезона. Таким образом, за счет учета в модели зависимостей скоростей рекомбинационных процессов, определяющих N_e , от сезона и условий освещенности (что нашло отражение в коэффициентах k, γ, a, b, c в (4а, б)), мы находим жесткость спектра, изменение которой от вечерних и ночных часов к утренним определяется только процессами в магнитосфере.

Полный поток электронов с $E = 10-300$ кэВ можно определить из величины поглощения A (дБ) космического радиоизлучения, измеряемого риометрами, используя соотношение:

$$A = P (J(>E))^{0.5} \quad (5)$$

Связь коэффициента P с жесткостью (E_0, n) спектра в зависимости от сезона и зенитного угла χ найдена с помощью модели нижней ионосферы. Она показана на рис. 2б, где кривые 1-3 иллюстрируют суточную и кривые 2 и 4 - сезонную вариации $P(E_0, n)$. Видно, что для электронов с жестким спектром, проникающих на более низкие h, расхождение между кривыми значительно больше, чем для потока с мягким спектром, причем зависимость от сезона существеннее, чем от χ . Кривые на рис. 2б могут быть аппроксимированы зависимостями вида:

$$P = (d_1 E_0 - d_2) \ll 10^{-4} \quad (6)$$

с коэффициентами d_1 и d_2 , меняющимися с сезоном и зенитным углом χ [21].

Связь между полным потоком высыпавшихся электронов и поглощением, полученная для 25-ти событий АП, показана на рис.3 для вечерне-полуночного (а) и утреннего (б) секторов. Видно, что она меняется с сезоном и локальным временем и может быть представлена следующими зависимостями:
вечерне-полуночный сектор утренний сектор

$$J(>10 \text{ кэВ}) = 5.47 \cdot 10^8 \text{ А}^{1.93} \text{ зима } J(>30 \text{ кэВ}) = 3.70 \cdot 10^6 \text{ А}^{1.65} \text{ (7a)}$$

$$J(>10 \text{ кэВ}) = 8.55 \cdot 10^8 \text{ А}^{1.72} \text{ лето } J(>30 \text{ кэВ}) = 8.86 \cdot 10^6 \text{ А}^{1.64} \text{ (7б)}$$

Из (7а, б) следует, что один и тот же поток электронов обеспечит в зимних условиях в 1.5-2 раза больший уровень поглощения А, чем летом, что объясняет результаты статистического анализа сезонных вариаций аврорального поглощения.

2. Известный метод восстановления спектра электронов из профилей $N_e(h)$, основанный на использовании уравнения (1) и инверсии высотного профиля $Q_e(h)$, может быть значительно уточнен за счет использования профилей $\alpha_{эф}(h)$, рассчитываемых для соответствующего месяца, времени суток и уровня возмущенности по теоретической модели нижней ионосферы. С помощью разработанной программы, позволяющей для конкретных событий АП, учитывая особенности профиля $N_e(h)$, задавать границы диапазона Е, были восстановлены спектры высыпавшихся электронов в диапазоне Е=3-100 кэВ и исследованы их вариации в ходе нескольких авроральных суббурь в вечерне-полуночном секторе. Выявлены следующие особенности:

а). Для подготовительной фазы суббури характерны вариации потока низкоэнергичных электронов ($E < 20$ кэВ); перед началом активной фазы поток уменьшается.

б). Момент начала суббури характеризуется усилением интенсивности электронов во всем диапазоне Е=3-100 кэВ. Во время развития активной фазы спектр может быть представлен в виде суперпозиции двух спектров, для низкоэнергичных ($E < 10$ кэВ) и высокоэнергичных ($E \geq 10$ кэВ) электронов. Для этого периода характерны значительные (1-2 порядка величины) изменения потока только высокоэнергичных электронов.

Отметим, что энергетические спектры для диапазона Е=10-200 кэВ, выведенные обоими методами, могут быть описаны функциями одного вида с одинаковыми или близкими значениями спектральных параметров.

3. В разработанных методиках [1-3] для решения уравнения (2) используется метод наименьших квадратов. Как показано Тихоновым [22], решение этим методом является неустойчивым, о чем свидетельствует появление в ряде случаев провалов и осцилляций в выводимых энергетических спектрах. Нами разработан комплекс программ для восстановления спектров высыпавшихся электронов на основе решения уравнения (2) методом регуляризации [23], позволяющим эффективно восстанавливать разнообразные спектры высыпавшихся частиц $f(E)$, даже в случаях, когда профиль $N_e(h)$ задан с погрешностями. В качестве иллюстрации на рис.4а дан спектр электронов, восстановленный нами по экспериментальному профилю $N_e(h)$, в сравнении с измеренным на спутнике Viking [20]. На рис.4б профиль $N_e(h)$, рассчитанный по модели Е и нижней F-областей с использованием восстановленного спектра электронов, сравнивается с профилем, измеренным ЕЙСКАТ - радаром.

Заключение

1. Созданные модели полярной области для высот 60-220 км дали возможность разработать новые и значительно усовершенствовать ранее предложенные методы восстановления спектров высыпавшихся электронов по данным наземных измерений ионизации.

2. С использованием большого массива профилей $N_e(h)$, измеренных ЕЙСКАТ - радаром, исследованы вариации энергетического спектра и потока электронов в различных геофизических условиях (сезон, время суток), а также в ходе развития авроральных суббурь.

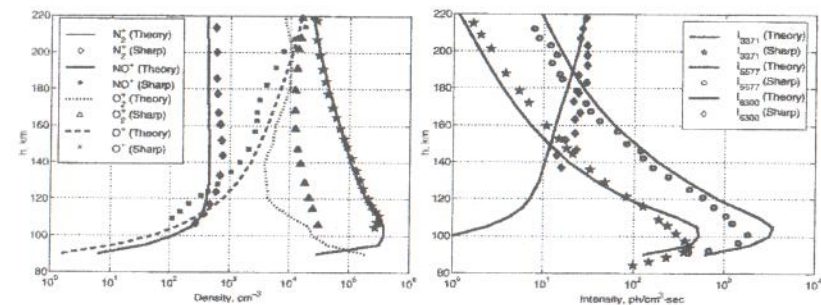


Рис.1. Сравнение рассчитанного ионного состава и интенсивностей авроральных эмиссий с экспериментальными данными [18]

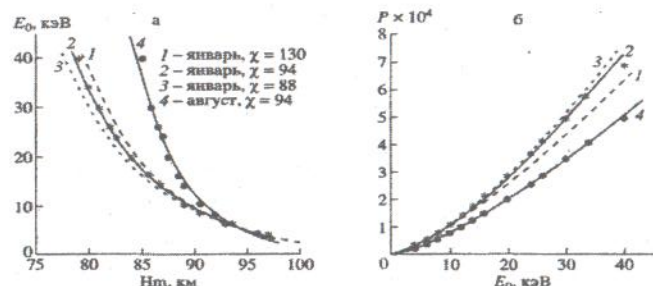


Рис.2. а- связь жесткости спектра высыпавшихся электронов и высоты H_m в различные сезоны и при разных зенитных углах, б- зависимость коэффициента P (уравнение 5) от жесткости спектра электронов для лета и зимы при различных зенитных углах Солнца.

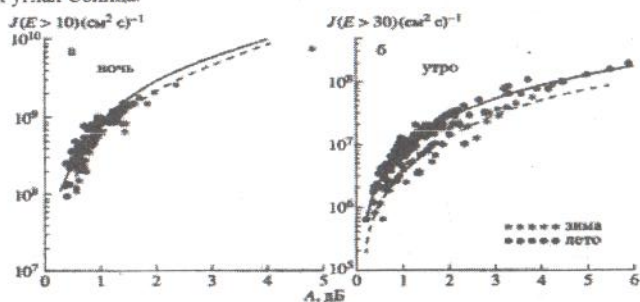


Рис.3. Зависимость полного потока высокоэнергичных электронов от поглощения для вечерне-полуночного (а) и утреннего (б) секторов вторжения электронов

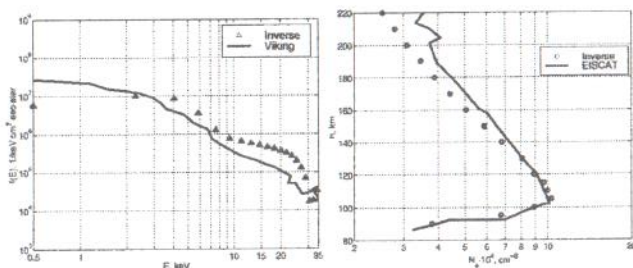


Рис.4 а - сравнение спектра электронов, восстановленного по экспериментальному профилю $N_c(h)$, с результатами измерений на спутнике Viking, б - сравнение профиля $N_c(h)$, рассчитанного по модели F и нижней F-областей по восстановленному спектру электронов, с измеренным ЕЙСКАТ - радаром

Список литературы

- Vondrak R.R., Baron M.J. Radar Probing of the Auroral Plasma. Ed. A. Brekke. Universitetsforlaget. Tromso-Oslo-Bergen. 1977. P.315-330.
- Brekke A., Hall C., Hanson T.L. Ann. Geophys. 1989. V.7. P.269.
- Kirkwood S. Tech. Rep. 034. ISSN-0284-1738. SRI. Kiruna. 1988
- Penman J.M., Hargreaves J.K., McIlwain C.E. Planet. Space Sci. 1979. V.27. P.445-451.
- Gledhill J.A. Radio Sci. 1986. V.21. No3. P. 399-408.
- Osepian A., Kirkwood S., Smirnova N. Proc. 12th ESA Symposium. 1995. P.263-268.
- Smirnova N., Ogloblina O., Vlaskov V. PAGEOPH. 1988. V.127. No 2/3. P. 353-379.
- Власков В.А., Осемян А.П., Чурикова Т.В., Турунен Е. Геомагнетизм и аэрномия. 1990. Т.30. № 1. С.143-146
- Осемян А.П., Чурикова Т.В., Смирнова Н.В., Власков В.А. Исследование высокоширотной ионосферы. Апатиты: КФ АН СССР. 1986. С. 3-10.
- Osepian A., Smirnova N. J. Atmos. Terr. Phys. 1997. V.59. No 8. P.951-960.
- Елисеев Н.В., Смирнова Н.В., Козлов С.И. Космич. исслед. 1992. Т.30. С. 351-356.
- Smirnova N., Kirkwood S., Osepian A. Proc.12th ESA Symposium. 1995. P.269-272.
- Кириллов А.С., Осипов Н.К., Иванов В.Е. Геомагнетизм и аэрномия. 1984. Т.24. № 4. С. 625-630.
- Иванов В.Е., Сергисенко Т.И. Взаимодействие авроральных электронов с атмосферными газами (статистическое моделирование). 1992. СПб: Наука. С.144.
- Каширин А.И. Геомагнетизм и аэрномия. 1986. Т.26. № 4. С. 563-568.
- Nusinov A.A. Proc. Workshop on the Solar Electromagnetic Radiation Study for solar Cycle 22. July 1992. P.354-359.
- Rees M.H., Stewart A.I., Sharp W.E. et al. J. Geophys. Res. 1977. V.82. P.2250-2258.
- Sharp W.E., Rees M.H., Stewart A.I. J. Geophys. Res. 1979.V.84. No5. P.1977-1985.
- Anderson P.C., McCrea I.W., Strickland D.J. et al. J. Geophys. Res. 1997.V.102. No 4. P.7421-7430.
- Lilensten J., Fontaine D., Kofman W., et al. J. Geophys. Res. 1990.V.95. P.6081-6092.
- Осемян А.П., Смирнова Н.В., Кирквуд Ш. Космич. исслед. 1999. Т.37. № 4. С.348-355.
- Тихонов А.Н. ДАН. 1965. Т.163. С. 591-594.
- Тихонов А.Н. и др. Численные методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1990.

ДИНАМИКА СТРУЙНЫХ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ В АТМОСФЕРЕ

В.Ш. Шагалов (СПИ), О.С. Гудкова (СФ СИ)

Введение

Одним из главных источников загрязнения атмосферы в промышленно развитых городах являются выбросы из труб различных предприятий, представляющие собой газовые смеси с твердыми или жидкими частицами. При этом возможные экологические последствия зависят не только от токсических свойств этих выбросов, их интенсивности, но также от сезонных климатических погодных условий и физико-механических параметров выбрасываемых систем. К настоящему времени при теоретическом описании распространения выбросов в атмосфере в основном используются уравнения конвективного переноса, учитывающие турбулентные рассеяния [1, 2]. При этом обычно не принимается во внимание перенос выбросов в атмосфере за счет сил плавучести, возникающих вследствие того, что средняя плотность выбросов может значительно отличаться от плотности окружающего воздуха. Поскольку средняя плотность смеси из-за тепло- и массообмена с атмосферой меняется, то силы плавучести в процессе движения могут быть положительными на некоторых участках траектории и отрицательными на других ее участках. При распространении выбросов вблизи зон промышленной застройки отмеченные обстоятельства могут быть определяющими.

Для многих конкретных газовых выбросов (дым из труб ТЭЦ, например), смесь на выходе из трубы двухфазна и содержит газ - продукт горения (химическую составляющую) и взвешенные твердые частицы (сажу). Скорость истечения таких выбросов составляет, как правило, не более десятка метров за секунду, что в большинстве ситуаций меньше, чем скорость окружающих атмосферных потоков. Поэтому основные участки промышленных «хвостов» представляют собой пассивные струи, скорость смеси в которых близка к скорости ветра. Это обстоятельство проявляется, в частности, в том, что траектории струй на выходе из труб терпят изломы (практически сразу на выходе горизонтальная составляющая скорости смеси приобретает значение скорости окружающего воздушного потока). В процессе распространения в струю проникает атмосферный воздух, струя становится трехкомпонентной.

Основные уравнения.

Для теоретического описания распространения газопылевых струй в атмосфере примем следующие допущения. Во-первых, будем считать, что струя состоит из двух областей («вложенных» струй). Под границей внутренней струи будем понимать поверхность видимой области, содержащей наряду с газообразными составляющими и твердые продукты выбросов. Внешняя струя представляет собой невидимую прозрачную «ауру», состоящую только из газообразных компонент смеси. Тем самым внешняя граница, вообще говоря, может не совпадать с границей, принимаемой в теории свободных турбулентных струй.

Считаем погоду установившейся, то есть направление и скорость ветра, а также температура атмосферы не зависят от времени, значения этих параметров зависят только от высоты. Кроме того, источник газовых выбросов функционирует с постоянной интенсивностью достаточно долго и сформировавшуюся в атмосфере струю также можно считать стационарной. Поскольку поступающая из источника выбросов смесь полностью движется в струе, поэтому изменение массового расхода смеси во внутренней струе вдоль ее оси будет происходить как за счет рассеяния химической составляющей во внешнюю струю, так и за счет захвата атмосферного воздуха из внешней струи. Изменение массового расхода смеси во внутренней струе происходит за счет обмена с внутренней струей и притока атмосферного воздуха через ее внешнюю границу [3].

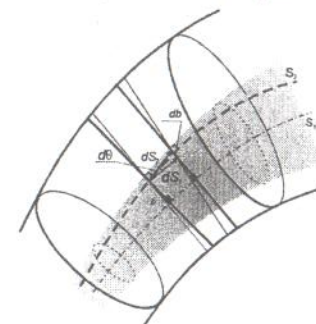


Рис 1

Введем (рис.1) осевые линии внутренней $\vec{r}^{(1)} = \vec{r}^{(1)}(S^{(1)})$ и внешней $\vec{r}^{(2)} = \vec{r}^{(2)}(S^{(2)})$ струй, которые будут искомыми. Эти линии в дальнейшем будем называть траекторией соответствующей струи, причем траектория параметризована естественным образом ($S^{(i)}$ - длина дуги). Любое поперечное сечение струи представляет собой круг с радиусом $a^{(i)} = a^{(i)}(S^{(i)})$. Все параметры, определяющие состояние системы, являются функцией длины дуги $S^{(i)}$, и тем самым течение струи описывается в квазиодномерном приближении. Систему координат выберем так, чтобы ось X была направлена по ветру, а ось Z - перпендикулярно ей вверх (труба вертикальна). Тогда искомая траектория струи будет представлять собой плоскую линию на координатной плоскости XOZ. Величина давления в струе равна атмосферному давлению, изменяющемуся с высотой ($p_a = p_a(z)$). В рамках принятых допущений запишем уравнение сохранения массы для смеси во внутренней струе в целом:

$$\frac{dm^{(1)}}{dS^{(1)}} = J_{ga}^{12} - J_{gg}^{12}$$

$$\left(\frac{1}{\rho^{(1)}} = \frac{k_p}{\rho_p^0} + \frac{1-k_p}{\rho_g^0(1)}, \quad m^{(1)} = \rho^{(1)} v^{(1)} F^{(1)}, \quad F^{(1)} = \pi a^{(1)2} \right) (1)$$

здесь $m^{(1)}, \rho^{(1)}, k_p, \rho_i^{(1)}, (i = p, g), F^{(1)}, v^{(1)}, J_{gj}^{(1)} (j = a, g)$ - соответственно массовый расход смеси, средняя плотность смеси, массовая концентрация твердых частиц во внутренней струе, истинные плотности частиц и газа, площадь сечения внутренней струи и средняя скорость движения смеси, интенсивность массообмена воздухом и химической составляющей между внутренней и внешней струей, отнесенная к единице длины струи.

Поскольку в общем случае смесь в струе представляет собой трехкомпонентную систему, запишем уравнения баланса массы для химической и воздушной компонент, а также для твердых частиц:

$$\frac{d}{dS^{(1)}} \left((1 - k_p) k_{gg}^{(1)} m^{(1)} \right) = -J_{gg}^{(12)}, \quad \frac{d}{dS^{(1)}} (k_p m^{(1)}) = 0$$

$$\frac{d}{dS^{(1)}} \left((1 - k_p) k_{ga}^{(1)} m^{(1)} \right) = J_{ga}^{(12)}, \quad (k_p^{(1)} + k_g^{(1)}) = 1, \quad k_{gg}^{(1)} + k_{ga}^{(1)} = 1$$

где $k_{gi}, i = g, a$ - массовые концентрации химической составляющей и проникающего в струю атмосферного воздуха в газовой фазе струи. Далее нижний индекс a указывает на параметры, относящиеся к атмосфере.

Теперь рассмотрим участок внешней струи $dS^{(2)}$ (рис. 2), соответствующий участку внутренней струи $dS^{(1)}$. Внешняя струя будет иметь только компоненты, находящиеся в газовой фазе: химическая составляющая и атмосферный воздух, проникший в струю из окружающей среды. Аналогично представленному выше, уравнения баланса массы для внешней струи будут иметь вид:

$$\frac{dm^{(2)}}{dS^{(2)}} = -J_{ga}^{(12)} + J_{gg}^{(12)} + J_{ga}^{(2a)}, \quad \frac{d}{dS^{(2)}} (m^{(2)} k_{gg}^{(2)}) = J_{gg}^{(12)},$$

$$\frac{d}{dS^{(2)}} (m^{(2)} k_{ga}^{(2)}) = -J_{ga}^{(12)} + J_{ga}^{(2a)}, \quad \left(m^{(2)} = \rho^{(2)} \left(F^{(2)} - F^{(1)} \frac{dS^{(1)}}{dS^{(2)}} \right) v^{(2)} \right).$$

Здесь $J_{ga}^{(2a)}$ - интенсивность массообмена между внешней струей и атмосферой, отнесенная к единице длины внешней струи. Остальные параметры - аналогично внутренней струе.

Уравнение импульсов для смеси в целом для внутренней струи в односкоростном приближении может быть записано в виде:

$$m^{(1)} \frac{d\bar{v}^{(1)}}{dS^{(1)}} = (\rho^{(1)} - \rho_a) F^{(1)} \bar{g} + (J_{ga}^{(12)} - J_{gg}^{(12)}) (\bar{v}^{(2)} - \bar{v}^{(1)}) + \bar{f}^{(12)} \quad (2),$$

$$(\bar{v} = v\bar{\tau}, \bar{\tau} = \frac{d\bar{r}}{dS}, \bar{w} = w\bar{i}, \bar{g} = -g\bar{k})$$

Здесь \bar{W} и \bar{g} - соответственно скорость ветра и ускорение силы тяжести. Первое слагаемое в правой части уравнения (2) обусловлено действием на струю силы плавучести, второе слагаемое связано с изменением импульса из-за массообмена между струей и атмосферой. Последнее слагаемое ($\bar{f}^{(12)}$) связано с движением смеси во внутренней струе относительно внешней струи. Эту силу представим как сумму продольной составляющей $\bar{f}_{\tau}^{(12)}$, направленной по оси внутренней струи, и боковой составляющей $\bar{f}_w^{(12)}$, сонаправленной со скоростью внешней струи:

$$\bar{f}^{(12)} = \bar{f}_{\tau}^{(12)} + \bar{f}_w^{(12)}$$

Будем полагать, что продольная составляющая определяется так же как при течении струи в трубчатом канале радиуса a со скоростью $v^{(1)} - v_{\tau}^{(2)}$ (где $v_{\tau}^{(2)}$ - проекция скорости внешней струи на ось внутренней струи), равной проекции скорости потока во внутренней струе относительно внешней на ось струи.

Тогда будем иметь:

$$\bar{f}_{\tau}^{(12)} = -2\pi a^{(1)} c_{\tau} \rho^{(1)} \frac{|v^{(1)} - v_{\tau}^{(2)}| (v^{(1)} - v_{\tau}^{(2)}) F^{(1)}}{2},$$

$$\left(v_{\tau}^{(2)} = \bar{v}^{(2)} \bar{\tau}^{(1)} = v^{(2)} \frac{dx^{(1)}}{dS^{(1)}} \right) \quad (3)$$

При задании составляющей $\bar{f}_w^{(12)}$ примем, что действие окружающей смеси на струю такое же, как при обтекании цилиндра поперечным потоком со скоростью, равной скорости внешней струи $v^{(2)}$. Тогда для двух предельных си-

туаций, соответствующих обтеканию цилиндра при малых и больших числах Рейнольдса, можем записать [8]:

$$\bar{f}_w^{(12)} = \frac{8\pi\rho_a\gamma\nu^{(2)}\bar{v}^{(2)}}{1-2\ln\left(\frac{1.8a^{(1)}|\bar{v}^{(2)}|}{4\nu^{(2)}}\right)}$$

и

$$\bar{f}_w^{(12)} = \rho_a a^{(1)} \gamma c_w |\bar{v}^{(2)}| \bar{v}^{(2)} \quad (c_w = 0.5, \gamma = \left| \frac{dz^{(1)}}{dS^{(1)}} \right|)$$

Здесь $\nu^{(2)}$ - кинематическая вязкость смеси во внешней струе. Отметим, что коэффициент γ учитывает отклонение оси внутренней струи от вертикального направления.

Для внешней струи уравнение баланса импульса имеет вид:

$$m^{(2)} \frac{d\bar{v}^{(2)}}{dS^{(2)}} = (\rho^{(2)} - \rho_a) \left(F^{(2)} - F^{(1)} \frac{dS^{(1)}}{dS^{(2)}} \right) \bar{g} + \\ + \left(-J_{ga}^{(12)} + J_{gg}^{(12)} \right) (\bar{v}^{(2)} - \bar{v}^{(1)}) + J_{ga}^{(2a)} (\bar{w} - \bar{v}^{(2)}) - \bar{f}^{(12)} + \bar{f}^{(2a)}$$

Соотношения, определяющие силу сопротивления движению внешней струи со стороны атмосферы (\bar{w} - скорость ветра):

$$\bar{f}^{(2a)} = \bar{f}_\tau^{(2a)} + \bar{f}_w^{(2a)},$$

где, в свою очередь:

$$\bar{f}_\tau^{(2a)} = 2\pi a^{(2)} c_\tau \rho^{(2)} \frac{|\bar{v}^{(2)} - w_{\tau^{(2)}}| \left(|\bar{v}^{(2)} - w_{\tau^{(2)}}| \bar{f}^{(2)} \right)}{2}, \\ \left(w_{\tau^{(2)}} = \bar{w} \bar{\tau}^{(2)} = w \frac{dx^{(2)}}{dS^{(2)}} \right)$$

$$\bar{f}_w^{(2a)} = \rho_a a^{(2)} \gamma c_w |\bar{w}| \bar{w}$$

Запишем также уравнения притока тепла

$$m^{(1)} c^{(1)} \frac{dT^{(1)}}{dS^{(1)}} = \left(J_{ga}^{(12)} - J_{gg}^{(12)} \right) (e^{(2)} - e^{(1)}) + Q^{(12)} - \frac{(1-k_p) m^{(1)} g \rho_a dz^{(1)}}{\rho^{(1)} dS^{(1)}}, \\ m^{(2)} c^{(2)} \frac{dT^{(2)}}{dS^{(2)}} = \left(J_{ga}^{(2a)} (e_a - e^{(2)}) + \left(J_{gg}^{(12)} - J_{ga}^{(12)} \right) (e^{(2)} - e^{(1)}) \right) + \\ + \left(Q^{(2a)} - Q^{(12)} \right) - \frac{m^{(2)} g \rho_a dz^{(2)}}{\rho^{(2)} dS^{(2)}} \quad (4)$$

где $c^{(1)}, c^{(2)}$ - средняя теплоемкость смеси во внутренней и внешней струе, $e^{(i)}, i=1,2$ соответственно, внутренняя энергия единицы объема внутренней и внешней струи, e_a - внутренняя энергия единицы объема атмосферного воздуха, $Q^{(12)}, Q^{(2a)}$ - интенсивность теплообмена внутренней струи с внешней, и внешней струи с атмосферой, отнесенная к единице длины струи. Первое слагаемое в правой части уравнения энергии отвечает за изменение температуры за счет смешения вещества внутренней струи с внешней струей, третье слагаемое связано с баротермическим эффектом из-за изменения атмосферного давления с высотой.

Уравнение состояния для газовой фазы в струе примем в виде:

$$p^{(i)} = \frac{\rho^{(i)} (1-k_p)}{1 - \frac{\rho^{(i)} k_p}{\rho_p^0}} R_g^{(i)} T^{(i)}, \\ R_g^{(i)} = R_{ga} (1-k_{gg}^{(i)}) + R_{gg} k_{gg}^{(i)}, \quad R_{gi} = \frac{R}{\mu_{gi}} \quad (5)$$

Здесь R - универсальная газовая постоянная, R_g и R_{gi} , ($i=a, g$) - приведенные газовые постоянные для газовой фазы смеси в целом и ее компонент, μ_{gi} - молярные массы компонент.

Для замыкания полученной системы уравнений необходимо добавить соотношения для параметров $J_{gi}^{(kl)}$ и $Q^{(kl)}$, определяющие интенсивность массо- и теплообмена между внутренней и внешней струей и внешней струей и атмосферным воздухом. Скорость внутренней и внешней струи близки, поэтому внутренняя струя будет пассивна по отношению ко внешней. Интенсивность массообмена, в силу выше принятых допущений, фактически определяет темп поступления во внутреннюю струю воздуха из окружающей ее внешней и интенсивность оттока химической составляющей во внешнюю струю. При ее за-

дании примем, что интенсивность массообмена пропорциональна разности концентраций соответствующей компоненты вне струи и внутри нее. Тогда с учетом конусовидности формы участков струи, определяемой зависимостью площади сечения или радиуса струи от $S^{(1)}$, для интенсивности массообмена, отнесенной к единице длины струи можем записать:

$$J_{gi}^{(12)} = \pi \rho_g^{0(1)} D^{(12)} Sh^{(12)} (k_{gi}^{(2)} - k_{gi}^{(1)}) \sqrt{1 + \left(\frac{da^{(1)}}{dS^{(1)}} \right)^2} \quad (6)$$

Для интенсивности массообмена между внешней струей и атмосферой возможны две предельные ситуации. Для первой предельной ситуации, а именно, в случае активных струй, когда начальная скорость внешней струи значительно превышает значение скорости воздушного потока (в том числе, при истечении в отсутствие ветра) согласно [6] интенсивность захвата воздуха может быть представлена в виде:

$$J_{ga}^{(2a)} = 2\pi \beta a^{(2)} \rho_a \left| \vec{v}^{(2)} - \vec{w}_{\tau^{(2)}} \right|, \quad (\beta \cong 0.1)$$

Для второго предельного случая, когда скорость внешней струи и ветра близки, исходя из тех же предположений, что и для внутренней струи, можем записать:

$$J_{ga}^{(2a)} = \pi \rho_g^{0(2)} D^{(2a)} Sh^{(2a)} (1 - k_{ga}^{(2)}) \sqrt{1 + \left(\frac{da^{(2)}}{dS^{(2)}} \right)^2} \quad (6a)$$

Значение произведения параметров $D^{(kl)}$ и $Sh^{(kl)}$ (эффективного коэффициента диффузии и числа Шервуда) в рамках принятых гипотез фактически полностью отвечает за состояние турбулентности в атмосфере и в струе.

Интенсивность смешения струи с окружающей атмосферой, задаваемая выражением (6a), формально не учитывает проникновения атмосферного воздуха в струю в случае, когда совпадают их составы (например, при $k_{ga}^{(2)} = 1$). Но в случае идентичных по составу систем в струе и окружающей атмосфере (чисто термическая струя, например), смешение фактически учитывается на основе уравнения притока тепла (4) слагаемым $Q^{(2a)}$.

Для интенсивности теплообмена, аналогично предыдущему, будем полагать, что она пропорциональна разности между температурами струи и атмосферы. Тогда

$$Q^{(ij)} = \pi \lambda^{(ij)} Nu^{(ij)} (T^{(i)} - T^{(j)}) \sqrt{1 + \left(\frac{da^{(i)}}{dS^{(i)}} \right)^2}, \quad (7)$$

где $\lambda^{(ij)}$ и $Nu^{(ij)}$ - эффективный коэффициент теплопроводности и число Нуссельта.

Одним из наиболее сложных и принципиальных элементов предлагаемого феноменологического описания теплообмена и массообмена с помощью соотношений (6), (6a) и (7) является выбор эмпирических коэффициентов, связанных с взаимодействием струи с окружающей атмосферой. Как известно, качественные особенности течения для осесимметричных свободных турбулентных струй во многом схожи [4, 7] с картиной для ламинарных струй. Поля скоростей, температур и концентраций хорошо описываются уравнениями гидродинамики и теплопереноса для ламинарных течений, введением постоянных эффективных коэффициентов вязкости, теплопроводности и диффузии. При этом число Прандтля для значений эффективных коэффициентов переноса близко к единице ($Pr \sim 0.5 \div 1$) хотя при этом вопрос о выборе конкретных значений для этих коэффициентов является открытым. Все отмеченное дает некоторую уверенность и основание использовать аналогию с ламинарным течением в каналах при задании коэффициентов, связанных с силовым взаимодействием струи с атмосферой (c_τ), а также тепло- и массопереносом (Sh и Nu). В частности, при стационарном ламинарном течении в каналах для отмеченных коэффициентов следует [8]: $c_\tau = 16/Re$, $Nu = Sh = 3.7$, где Re - число Рейнольдса. Кроме того, в случае пассивных струй, характеристики турбулентности в струе будут близки с турбулентностью окружающей атмосферы (с «фоновой» турбулентностью). Поэтому при выборе значений (по порядку величин) эффективных коэффициентов вязкости, теплопроводности и диффузии (для пассивных струй эти коэффициенты будут фактически определяться состоянием окружающей атмосферы), по-видимому, необходимо придерживаться принципа качественного, а так же количественного согласования наблюдаемой и расчетной картин распространения струй. Здесь отметим, что в настоящей работе использованы такие же значения (по порядку величин) эффективных коэффициентов переноса как в [9] при расчете динамики термиков в атмосфере на основе уравнений Навье - Стокса. В этой работе показано, что расчетные результаты хорошо согласуются с реальными наблюдениями.

Для упрощенного варианта модели («одноструйное» приближение) производились численные расчеты как для газопылевой струи, так и для струй состава «пар + капли + химическая составляющая + воздух», с учетом фазовых переходов внутри струи [3]. Расчеты показывают удовлетворительное совпадение результатов с экспериментальными данными [10]. Для «двуструйной» модели численно анализировался случай распространения газопылевой струи в безветренную погоду.

Литература

1. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей // под ред. Ф.Т.М. Ньисталта и Х. Ван-Доппа. - Ленинград, Гидрометеиздат, 1985, 364 с.
2. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды // Москва, Наука, 1972, 178 с.

3. Шагапов В.Ш., Гудкова О.С. Распространение паро-газокапельных струй в атмосфере // «Известия Академии Наук. Физика атмосферы и океана» №3, 2001 г.
4. Кочин Н.Е., Кибель Е.А., Розе Н.В. Теоретическая гидродинамика. Ч.2 // М., ФМГ, 1963 г., 728 с.
5. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкостях // М, Мир, 1977 г., 470 с.
6. Вулис Л.Л., Кашкаров В.П. Теория струй вязкой жидкости // М., Наука, 1965 г., 432 с.
- 7.
8. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Гидродинамика // М., Наука. 1986 г., 736 с.
9. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика // Физматгиз, 1959 г., 699 с.
10. Андрущенко В.А. Дрейф термика и пары термиков в поле стратифицированного ветра // Известия АН. Физика атмосферы и океана, 1993, т.29, №5, с.616-620.
11. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы // Л., Гидрометеиздат, 1990 г., 463 с.

УДК 539.532

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРЕ

Шагапов В.Ш.^а, Галиаскарова Г.Р.

^аИнститут механики УНЦ РАН; Терлитамакский государственный педагогический институт

Введение

В связи с усиливающимся влиянием человека на окружающую среду в последние годы возникла потребность в постановке все более сложных математических моделей для описания и процессов распространения и трансформации примесей в атмосфере на качественно новом уровне. В настоящей работе распространение смога изучается на основе теоретической модели, построенной аналогично теории мелкой воды [1]. В дальнейшем смогом будем называть газовую смесь, а также смесь газа с твердыми или жидкими частицами отрицательной плавучести (средняя плотность смеси больше плотности атмосферного воздуха). Вследствие этого смог растекается вдоль подстилающей его земной поверхности. Основную роль при распространении смога играют силы плавуче-

сти. При математическом описании данного процесса примем следующие предположения: распространение смога происходит в безветренную погоду; рельеф местности представляет собой ровную горизонтальную поверхность.

Основные уравнения

Учитывая принятые выше допущения, запишем уравнения сохранения массы и импульсов для слоя смога толщиной h , отсчитываемого от поверхности земли, в квазиодномерном приближении [8]

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{r^j} \frac{\partial}{\partial r} (r^j h u) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{du}{dt} = -g' \frac{\partial h}{\partial r} - \frac{\tau_G + \tau_A + \tau_F}{h}; \quad \left(\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial r}; g' = g \frac{\rho - \rho_a}{\rho} \right) \quad (2),$$

здесь r – расстояние, отсчитываемое от источника; u – скорость; g – ускорение силы тяжести; ρ и ρ_a – плотности смога и атмосферного воздуха;

τ_G, τ_A, τ_F – силы сопротивления, отнесенные на столбики смога с единичным основанием, со стороны земной поверхности, атмосферного воздуха и наземных объектов, распределенных на поверхности земли; $j=0$ и 1 соответствуют линейному и точечному источникам смога. Под линейным источником смога будем понимать объект, у которого характерный поперечный размер r_0 значительно меньше, чем длина l_0 ($r_0 \ll l_0$), а точечным, будем называть источник, у которого поперечные и продольные размеры одного порядка. Для упрощения математической постановки задач этими линейными размерами источников выбросов будем пренебрегать. Это допущение означает, что нас интересуют расстояния значительно превышающие, характерные размеры источников смога. Отметим, что (1) записано в пренебрежении массообменом между слоем смога и атмосферным воздухом, находящимся над слоем смога ($z > h$), а также объемной долей наземных объектов (деревьев, домов). В уравнении (2) влияние трения учитывается введением сил сопротивления, зависящих как линейно, так и квадратично от скорости, а также зависящих определенным образом, который будет указан ниже, от h .

При растекании смога возможны две ситуации. Первая ситуация может возникнуть, когда высота смога ниже уровня наземных объектов. В этой ситуации преобладает сила сопротивления τ_F . В противном же случае, когда высота смога намного больше наземных объектов, преобладающее влияние оказывает сила τ_G .

Динамика накопления смога при отсутствии флоры

Рассмотрим ситуацию, соответствующую распространению смога, по горизонтальной поверхности при отсутствии деревьев ($\tau_F = 0$). Кроме того, также будем пренебрегать силой сопротивления со стороны атмосферы ($\tau_G \gg \tau_A$). Силу сопротивления со стороны поверхности земли зададим следующим образом

$$\tau_G = \lambda u^2. \quad (3)$$

Рассмотрим две схемы при задании коэффициента λ . В первом случае будем считать что $\lambda = const$. На основе данных приведенных в [10-13], для ровного поля имеем $\lambda = (1.4 \div 2.5) \cdot 10^{-3}$, для ровной поверхности — $\lambda = (1.5 \div 1.7) \cdot 10^{-3}$, для ровного, заснеженного ледяного поля — $\lambda = 1.42 \cdot 10^{-3}$.

Во втором случае, для закона сопротивления примем закон Маннинга [5,14]. Тогда для коэффициента λ можно записать

$$\lambda = \left(\frac{h_{**}}{h} \right)^{1/3} \quad (4)$$

где h_{**} — эффективный параметр, отвечающий за шероховатости поверхности Земли.

Анализ показывает, что инерционные эффекты (определяемые слагаемым в левой части уравнения (2)) обычно существенны в начальной стадии, удовлетворяющей условиям: $t \ll t_*$, $r_* \sim u_* t_u / 2$ ($u_* = \sqrt{g' h_*}$) — для линейного закона сопротивления; $t_* \sim r_u / u_*$, $r_* \sim r_u / 2$ для квадратичного закона сопротивления.

По видимому при растекании смога наибольший интерес представляет ситуация, когда действие силы тяжести уравновешивает силу сопротивления (силы инерции несущественны). Тогда на основе уравнений сохранения массы и импульсов, пренебрегая в уравнении (2) слагаемым в левой части, для случая $\lambda = const$ получим:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r h \sqrt{-g'(\lambda) h} \frac{\partial h}{\partial r} \right), \quad u = \sqrt{-g'(\lambda) h} \frac{\partial h}{\partial r} \quad \left(g'(\lambda) = \frac{g'}{\lambda} \right). \quad (5)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r h \sqrt{-\tilde{g}''(\lambda) h^3} \frac{\partial h}{\partial r} \right), \quad u = \sqrt{-\tilde{g}''(\lambda) h^3} \frac{\partial h}{\partial r} \quad \left(g''(\lambda) = g' / (h_{**})^{1/3} \right). \quad (6)$$

Пусть в начальный момент времени смог отсутствует, а в некоторый момент $t=0$ начинает функционировать источник с постоянной мощностью ($Q(t) = const$). Тогда начальные и граничные условия имеют вид:

$$h=0, (t=0, r>0), \quad (2\pi r h u)_r = Q, (t>0, r_c \rightarrow 0). \quad (7)$$

Аналитическое решение, соответствующее условиям (18), когда мощность источника смога является постоянной, можно записать следующим образом:

$$h = \left(\frac{Q^2}{\pi^2 g'(\lambda)} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{l} \right) \right)^{1/4}, \quad l(t) = 0.8 \left(Q^2 g'(\lambda) t^4 \right)^{1/7}, \quad (0 < r \leq l(t)); \quad h=0, (r > l(t)) \quad (8)$$

$$h = \left(\frac{13}{12} \frac{Q^2}{\pi^2 g''(\lambda)} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{l} \right) \right)^{3/13}, \quad l(t) = 0.77 \left(Q^7 (g''(\lambda))^3 t^{13} \right)^{1/23} \quad (0 < r \leq l(t)); \quad h=0, (r > l(t)). \quad (9)$$

Для представленных решений относительная разница координаты $r=l(t)$ граница смога по этим двум схемам составляет не более десяти процентов. Поэтому, в дальнейших примерах представленные расчеты выполнены по первой схеме с численным значением коэффициента сопротивления $\lambda = 2.5 \cdot 10^{-3}$ (соответствует ровной поверхности).

Отметим, что в случае функционирования источника смога постоянной интенсивности ($Q = const$), как следует из решений (8) и (9) существует при $t \rightarrow \infty$ предельные высоты смога, определяемые из выражений

$$h^{(m)} = \left(\frac{Q^2}{\pi^2 g'(\lambda) r} \right)^{1/4}, \quad h^{(m)} = \left(\frac{13}{12} \frac{Q^2}{\pi^2 g''(\lambda) r} \right)^{3/13} \quad (10)$$

На рис. 1 представлены зависимости толщины смога от координаты в момент времени $t=1$ ч и законы движения передней границы смога при $Q=10^4 \text{ м}^3/\text{с}$. Линии 1, 2, 3 соответствуют следующим значениям плотности смога $\rho = 1.30013; 1/3013; 1315 \text{ кг/м}^3$ ($g' = 0.001; 0.01; 0.1 \text{ м/с}^2$) и атмосферы

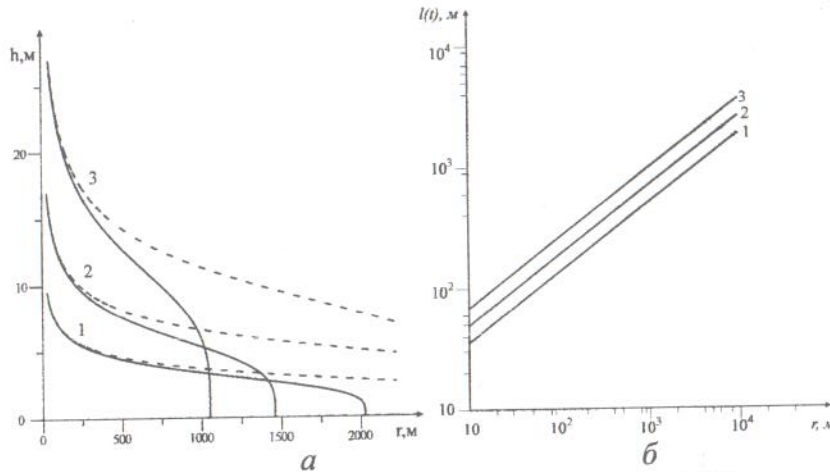


Рис. 1. Влияние плотности смога на его динамику распространения

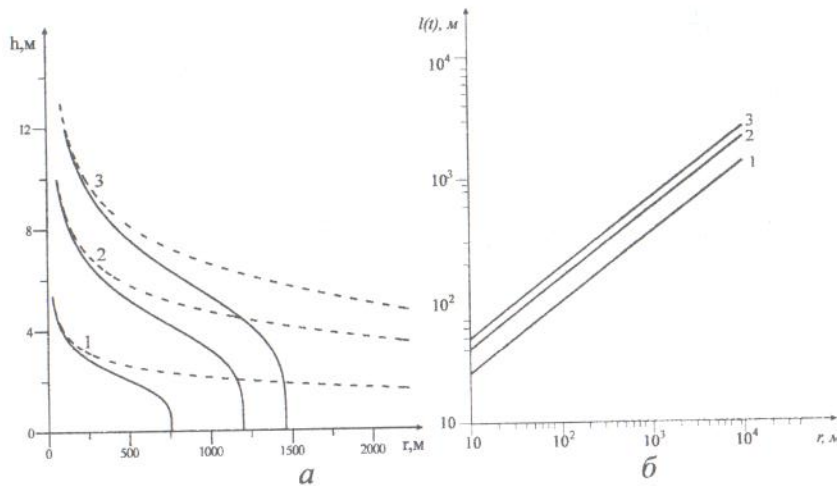


Рис. 2. Влияние мощности источника смога на динамику его распространения

$\rho_a = 1.3 \text{ кг/м}^3$. Пунктирные линии соответствуют предельной высоте смога, определяемой по первой формуле из (10).

Видно, что увеличение плотности приведет к росту темпа распространения смога и снижению его толщины. Вместе с тем необходимо иметь в виду, что принятая модель описания динамики не учитывает процессов смешения с окружающей атмосферой, интенсивность которых зависит от темпа распространения смога.

На рис. 2 приведены профили толщины смога в момент времени $t=1$ ч и законы движения передней границы смога при $Q = 10^3, 5 \cdot 10^3, 10^4 \text{ м}^3/\text{с}$ (линии 1, 2, 3) для $\rho = 1.3015 \text{ кг/м}^3$. Видно, что десятикратный рост мощности источника приводит к примерно двукратному увеличению радиуса границы смога и более чем трехкратному повышению его характерной толщины.

Задача имеет автомодельное решение в том случае, когда зависимость мощности источника от времени имеет вид:

$$Q = qt^{1/3} \tag{11}$$

Введем безразмерную высоту и автомодельную переменную следующим образом:

$$H = h/h_{(3)}^0, \quad \xi = \frac{r}{(\eta_{(\lambda)} t)^{2/3}}$$

$$(h_{(3)}^0 = (q3/g'_{(\lambda)}{}^2)^{1/7}, \quad \eta_{(\lambda)} = (g'_{(\lambda)}{}^3 q^6)^{1/14}). \tag{12}$$

Тогда уравнение (32) в этих переменных примет вид:

$$-\frac{2}{3} \xi \frac{dH}{d\xi} + \frac{1}{\xi} \frac{d}{d\xi} \left(\xi H \sqrt{-H} \frac{dH}{d\xi} \right) = 0. \tag{13}$$

Начальное и граничное условия (18) и (25) в автомодельных переменных (34) можно записать в виде

$$H(\infty) = 0, \quad 2\pi \xi_c H \sqrt{-H} \left(\frac{dH}{d\xi} \right)_{\xi_c} = 1, \quad (\xi_c \rightarrow 0) \tag{14}$$

Решение, полученное методом ПССС, для этой задачи имеет вид:

$$h = \left(\frac{Q^2}{\pi^2 g'(\lambda)} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{l} \right) \right)^{1/4}, \quad l(t) = 0.69 (g'(\lambda)^{1/2} q t^{7/3})^{2/7},$$

$$(0 < r \leq l(t)); \quad h = 0, (r > l(t)).$$

Данное решение можно записать в автомодельных переменных:

$$H = \left[\frac{1}{\pi^2} \left(\frac{1}{\xi} - \frac{1}{\xi_0} \right) \right]^{1/4}, \quad \xi_0 = 0.69, \quad (0 < \xi \leq \xi_0); \quad H = 0, (\xi > \xi_0)$$

(15)

На рис. 3 представлены характерные распределения слоя смога в случае квадратичного закона сопротивления, построенные по решениям уравнений (13) и (37). При этом для законов движения переднего фронта соответствующим автомодельным и приближенным решениям имеем

$$l(t) = 0.75 (\eta(\lambda) t)^{2/3} \quad \text{и} \quad l(t) = 0.69 (\eta(\lambda) t)^{2/3}.$$

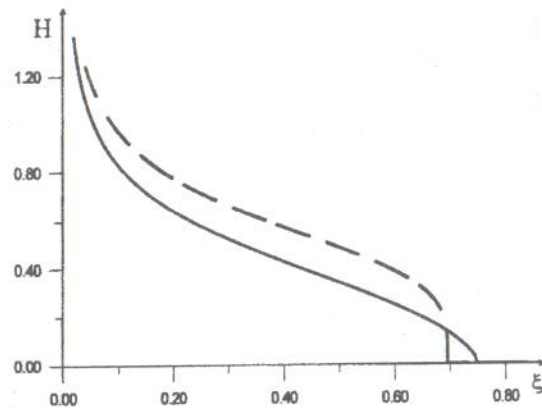


Рис. 3. Распределение безразмерной высоты смога в зависимости от автомодельной переменной когда преобладающее влияние оказывает сила сопротивления со стороны земной поверхности. Сила сопротивления учитывается по первой схеме, когда коэффициент λ принимается постоянным ($\lambda = const$). Сплошная линия получена на основе численного решения уравнения (13), пунктирная линия — по аналитическому решению (15)

Во втором случае, когда сила сопротивления задается по закону Маннинга, задача имеет автомодельное решение при условии, что зависимость мощности источника смога от времени имеет вид (11). Введем безразмерную высоту и автомодельную переменную следующим образом:

$$H = h / \bar{h}(\lambda), \quad \xi = \frac{r}{(\bar{\eta}(\lambda) t)^{2/3}}, \quad (\bar{h}(\lambda) = (q^3 / g''(\lambda)^2)^{1/9}, \quad \bar{\eta}(\lambda) = (q^3 g''(\lambda))^{1/6}).$$

(16)

Тогда уравнение (6) в переменных (16) запишется в виде

$$-\frac{2}{3} \xi \frac{dH}{d\xi} + \frac{1}{\xi} \frac{d}{d\xi} \left(\xi H \sqrt{-H^{4/3}} \frac{dH}{d\xi} \right) = 0.$$

(17)

Начальное и граничное условия (7) и (11) в автомодельных переменных (39) можно записать следующим образом

$$H(\infty) = 0, \quad 2\pi \xi_c H \sqrt{-H^{4/3}} \left(\frac{dH}{d\xi} \right)_{\xi_c} = 1, \quad (\xi_c \rightarrow 0)$$

(18)

Приближенное решение уравнения (6), полученное методом ПССС при начальном и граничном условиях (7) и (11) имеет вид

$$h = \left(\frac{13}{12} \frac{Q^2}{\pi^2 g''(\lambda)} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{l} \right) \right)^{3/13}, \quad l(t) = 0.67 (g''(\lambda)^{1/6} q^{1/2} t)^{2/3},$$

$$(0 < r \leq l(t)); \quad h = 0, (r > l(t))$$

(19)

Это решение в автомодельных переменных (41) запишется следующим образом

$$H = \left[\frac{13}{12} \left(\frac{1}{\xi} - \frac{1}{\xi_0} \right) \right]^{3/13}, \quad \xi_0 = 0.67, \quad (0 < \xi \leq \xi_0); \quad H = 0, (\xi > \xi_0)$$

(20)

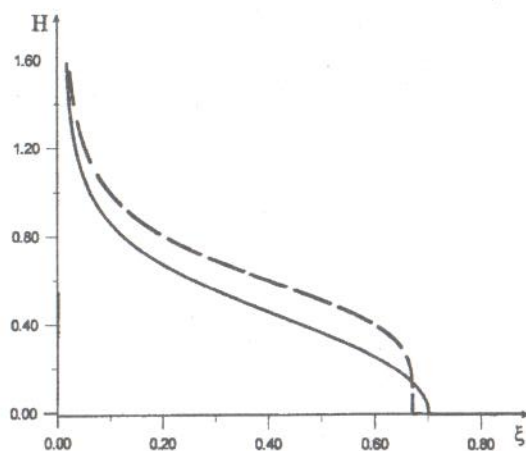


Рис. 4. Зависимость безразмерной высоты смога от автомодельной координаты в случае учета силы сопротивления со стороны земной поверхности, заданной по формуле Маннинга (4). Сплошная линия соответствует численному решению уравнения (17), пунктирная – аналитическому решению (20)

На рис. 4 представлены распределения безразмерной толщины слоя смога в автомодельных координатах в случае квадратичного закона сопротивления, построенные по решению уравнения (17) и по приближенному аналитическому решению (20). При этом для законов движения переднего фронта смога соответствующим автомодельным и приближенным решениям имеем

$$l(t) = 0.71 \left(\bar{\eta}_{(\lambda)} t \right)^{2/3} \text{ и } l(t) = 0.67 \left(\bar{\eta}_{(\lambda)} t \right)^{2/3}.$$

Заключение

На основе принятой квазиодномерной теории выявлены некоторые качественные и количественные особенности растекания тяжелых, по сравнению с воздухом, смесей вдоль подстилающей земной поверхности при различных законах для силы сопротивления. Полученные численные автомодельные и приближенные аналитические решения могут служить некоторой основой для тестирования алгоритмов расчетов по более сложным математическим моделям, учитывающим тепло и массообменные процессы, а также различные многомерные эффекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ламб Г. Гидродинамика. М.-Л. Гостехиздат, 1947.-928с.
2. Britter R.E. The spread of a negatively buoyant plume in calm environment/ Atmosphere environment/ 1979 vol.13 pp.1241-1247
3. Басниев К.С., Кочина И.Н., Власов А.М.. Подземная гидравлика. - М.: Недра, 1986, 303с.
4. Langleben M.P. A study of the roughness parameters of sea ice from wind profiles// J.Geophys.Res.1972. V.77.№21.P.3902-3925.
5. Banke E.G., Smith S.D. Measurement of drag on ice ridges// Aidje* bull.1975.№28/P.21-87
6. Smith S.D. Wind stress and turbulence over ice floe// J.Geophys.Res.1972. V.77.№21.P.3886-3901.
7. Репина И.А., Смирнов А.С. Обмен теплом и импульсом между атмосферой и льдом по данным наблюдений в районе Земли Франца-Иосифа// Известия АН. Физика атмосферы и океана.2000.Т.36. №5, с.672-680.
8. Стокер Дж. Дж. Волны на воде. - М.: Изд-во иностранной литературы, 1959
9. Чугаев Р.Р. Гидравлика (Техническая механика жидкости). -Л. Энергия, 1975, 600 с. с ил.

СЕКЦИЯ 3
**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
 ФИЗИКИ ЗЕМЛИ**

**УТОЧНЕНИЕ МЕСТ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ ПО НАТУРНЫМ
 ИЗМЕРЕНИЯМ ОБЛАЧНОСТИ**

Бибикина Т.Н.¹, Проскурякова Т.А.¹, Журба Е.В.¹, Алексеев В.А.².

1 - МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, 2 - Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Российской академии наук (ИЗМИРАН)

В последние годы в районах, прилегающих к Чёрному морю произошло несколько разрушительных землетрясений, которые не удалось предсказать (Армения, Турция). Поэтому вопрос о выявлении предвестников землетрясений является чрезвычайно актуальным. Известно, что землетрясения тесно связаны с разломными зонами.

Паламарчук и др. [1] показал, что на определённой стадии сейсмической активности из разломных зон происходит увеличение выбросов в атмосферу радиоактивных веществ заряженных аэрозолей и дегазации. Это приводит к увеличению ядер конденсации в тропосфере, что в первую очередь должно отразиться на характере облачности. Работы Морозовой также подтвердили, что над разломными структурами суши и морского дна выявляются определённые облачные образования, которые хорошо прослеживаются на космических снимках [2 – 3].

Данная работа посвящена выявлению взаимосвязи разломных зон в Крыму с местоположением облачности.

Кафедра физики атмосферы физического факультета МГУ начиная с 1954 года проводила регулярные экспедиционные работы на Южном берегу Крыма (ЮБК). Основной целью работы было выявление влияния орографии на воздушные потоки. Так как облака являются видимым проявлением процессов происходящих в тропосфере, то основное внимание уделялось изучению динамики облачных полей.

Для этого был специально разработан комплексный стереофотограмметрический метод съёмки облаков. В качестве аппаратуры использовали высокоточные фототеодолиты фирмы "Карл Цейсс". Съёмка производилась с базисов длиной от 900 до 1200 метров. Синхронность съёмки составляла 0,3 секунды. Обработка полученных стереопар производилась на прецизионном стереокомпараторе "Стекометр" фирмы Карл Цейсс. Координаты точек облачности вычислялись с точностью 1 – 2 %.

Таким образом был накоплен большой фактический материал по динамике облачных полей при различных синоптических ситуациях в Крыму и их местоположению.

Большинство очагов землетрясений Крыма приурочено к материковому склону Чёрного моря и происходят они в основном в зонах разломов, положение которых определялось по комплексу геолого-геофизических данных (Мурагов, Непрочнов 1967 г., Байдов и др. 1974 г. и другие) [4 – 5].

Позднее эти данные были дополнены результатами исследований, которые получили сотрудники кафедры физики Земли физического факультета МГУ, используя метод отражённых поверхностных сейсмических волн от далёких землетрясений [6]. В этом же районе были выполнены работы по выявлению разломных зон в Крымском регионе Киевским институтом геофизики [7] методом глубинного зондирования [ГСЗ]. На рис 1 приведены обобщённые данные по разломным зонам Крыма.

Из рис. 1 видно, что разломные структуры пересекают как континентальную часть полуострова, так и шельфовую. В большинстве своём разломы располагаются в море, параллельно береговой линии Крыма. На суше направление линий разломов составляет угол почти 90° по отношению к морским. Имея данные о местоположении разломных зон в Крыму, мы попытались сравнить их с расположением облачности.



Рис. 1. Схема разломных зон в южной части Крыма

В работе [6] Бибикиной Т.Н. и Проскуряковой Т.А. было выявлено, что в большинстве случаев землетрясения происходят при северных и северо-западных ветрах, перпендикулярных основной линии хребта.

В этом случае возникают над и за хребтом внутренние гравитационные волны, в гребнях которых при достаточной влажности формируются волновые орографические облака характерной чечевицеобразной формы типа Altocumulus

lenticularis (Ac. Lent). Однако, вдоль подветренного склона облака располагаются не равномерно, а локализуются в определённых районах.

На основе стереофотограмметрических измерений удалось выявить зоны концентрации облаков типа Ac. lent. при различных направлениях воздушных потоков. На рис. 2а схематически показано местоположение этих облаков относительно хребта Крымских гор. Точка в центре линии означает положение "центра тяжести" облака. Точки по краям отмечают максимальные горизонтальные размеры облака (перпендикулярно потоку).

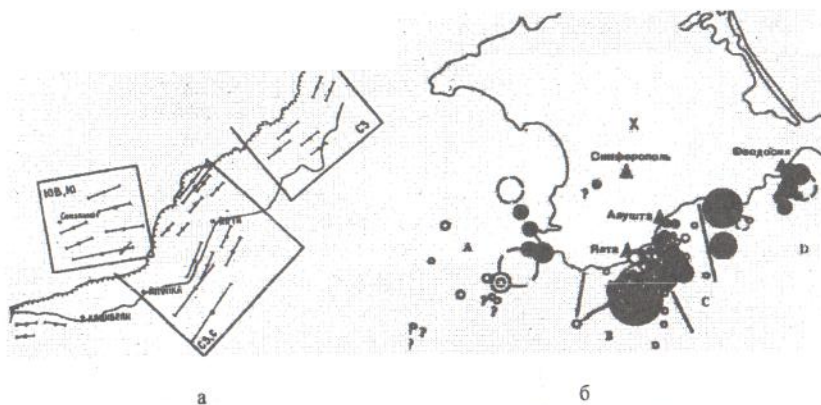


Рис. 2а. Схематическое местоположение облаков типа Ac. lent. по данным стереофотограмметрических измерений

Рис. 2б. Карта эпицентров землетрясений Крымского региона

Явно выделяются 4 локальных максимума: первый в районе Байдарских ворот, второй – в районе Ай-Петринской и Ялтинской яйл, третий в районе Бабуган Яйлы, четвёртый с Северной стороны хребта в районе пос. Соколиное. В первых трёх зонах облака типа Ac. lent. возникают при СЗ потоках, в четвёртом районе – при Южных и Юго-Восточных потоках. На рис. 2б дана карта эпицентров землетрясений Крымского региона ($K > 10$) [8].

По группированию очагов землетрясений в пространстве Крымский регион подразделяют на зоны: Севастопольскую, Ялтинскую, Алуштинскую, Феодосийско-Судакскую и так далее.

За последние 120 лет наиболее активными являются Ялтинская и Алуштинская зоны. В этих районах и производились инструментальные измерения параметров облачности. К тому же в этих районах расположены и основные разломные зоны. Это как раз и даёт нам повод сопоставить разломные зоны с местоположением облачности.

Перейдём к описанию конкретных примеров.

2 июля 1958 года облака типа Ac. Lent. существовали в виде системы из 3-х полос на южной стороне Крымских гор, возникшей при Северо-Западном воздушном потоке. Высота нижнего основания этих облаков составляла 3700 метров, верхнего – 4300 метров. Облака просуществовали 5 часов. На рис. 3а приведена фотография этих облаков. На рис. 3б представлено плановое положение этих облаков, совмещённое с зонами разломов.

31 июля 1958 года в районе Ялты наблюдались волновые облака в виде 4-х полос. Расстояние от скального обрыва Яйлы и между полосами составляло 5400 метров. Высота нижнего основания была 4100 метров. На рис. 4а показано изображение этих облаков. На рис. 4б изображено плановое положение этих облаков, наложенное на зоны разлома.

В обоих приведённых примерах отчётливо видно, что местоположение облаков и разломов соответствуют друг другу.

16 июля 1966 года в районе Ай-Петринской и Ялтинской яйл наблюдалось чечевицеобразное облако с 6 час. 19 мин. До 10 час. 32 мин. На рис. 5а изображено это облако.

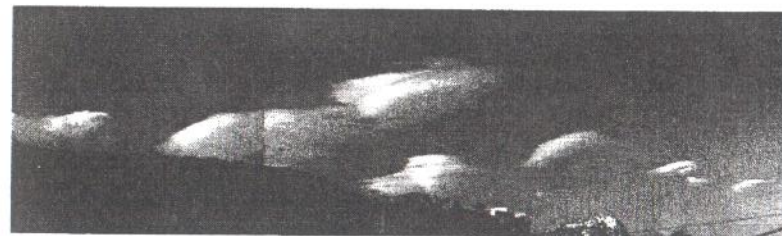


Рис. 3а. Фотография облачности 2-го июля 1958г. 18ч. 15м

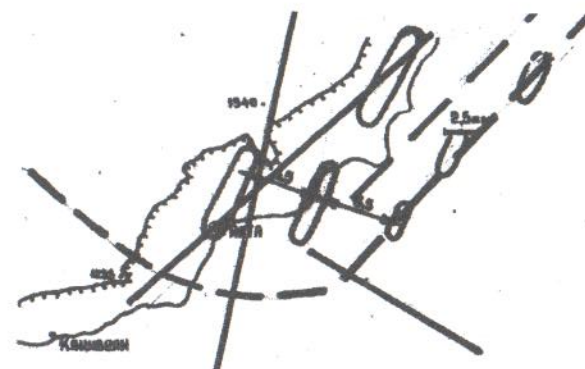
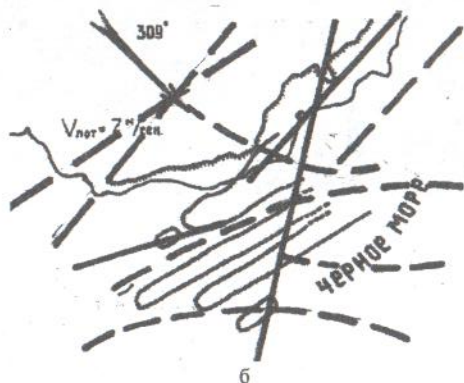


Рис. 3б. Плановое положение облаков 2 июля 1958 г., совмещённое с зонами разломов



а



б

Рис. 4а. Фотография облачности 31 июля 1958 г., 8ч.03м

Рис. 4б. Плановое положение облаков 31-го июля 1958 г., совмещенное с зонами разломов. Его местоположение практически не менялось, хотя размеры носили пульсационный характер с периодом в 11 минут. Облако имело горизонтальные размеры около 20 км. И было вытянуто параллельно обрыву Яйлы. Плановое положение этого облака изображено на рис. 5б. Местоположение облака совпадает с одной из разломных зон на материковой части, вытянутой от Алупки до Гурзуфа

8 июля 1958 года в 7 час. 25 мин. С южной стороны Крымских гор оформились облака типа *As. lent.*, которые в 7 час. 45 мин. развились в волновую систему, состоящую из 4-х облачных полос, параллельных обрыву Яйлы. Расстоя-

ние от хребта до первой облачной полосы составляло 4000 метров, а расстояние между соседними полосами равнялось 5700 метров. На рис. 5а представлено изображение этой облачной системы.

Плановое положение этой облачной системы показано на рис. 5б. Опять видно, что облачные полосы выстроились над зонами разломов.



Рис. 5а. Фотография облака 16-го июля 1966 г

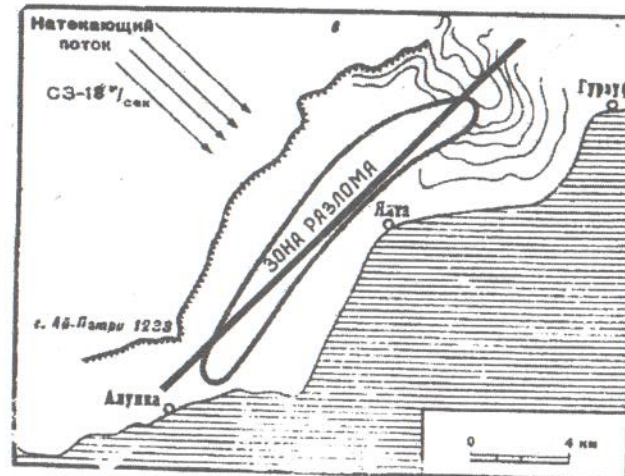


Рис. 5б. Плановое положение облака 16 июля 1966 г., совмещенное с зоной разлома

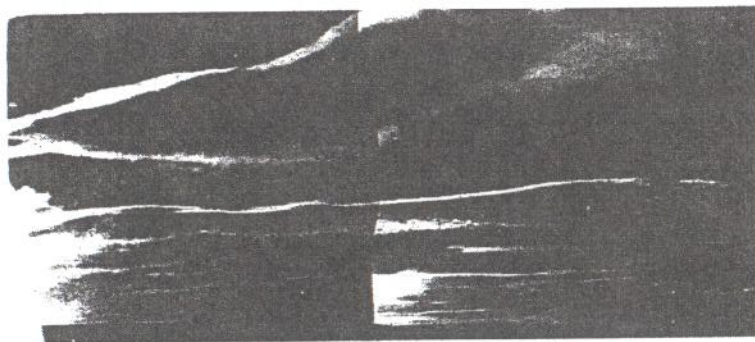


Рис. 6а. Фотография облачности 8 июля 1958 г., 9ч.25м.

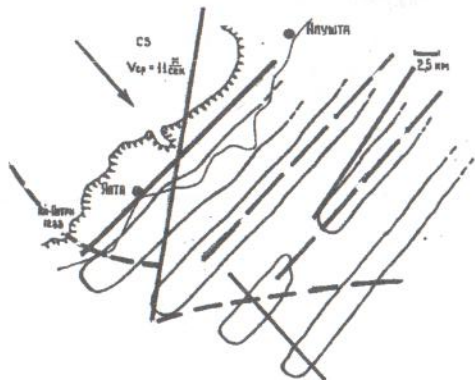


Рис. 6б. Плановое положение облачности 8 июля 1958 г., совмещенное с зонами разломов

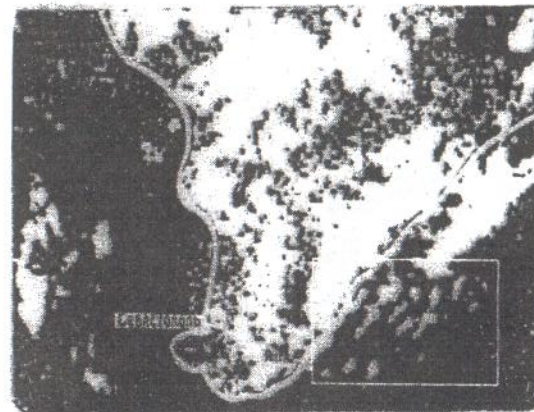
13 июля 1976 года в 6 часов утра появились облака типа *As. Lent.*, которые просуществовали до 12 час. 40 мин. Облачное поле состояло из большого количества отдельных облаков, имеющих классическую чечевицеобразную форму и по высоте они располагались в несколько ярусов с безоблачными промежутками. Фотография этой облачной системы приведена на рис. 7а. В тот же день и практически в тот же час был получен снимок с космического спутника, увеличенный кусок которого приведён на рис. 7б. На спутниковом снимке хорошо виден Крым и система волновых облаков, которые расположены полосами, параллельными основному хребту Крымских гор. Из снимка видно, что поля волновых орографических облаков простираются практически вдоль всей Южной стороны Крымских гор.

10 августа 1976 года облака типа *As. Lent.* появились в 6 час. 10 мин. И просуществовали до 10 час. 30 мин. Изображение этих облаков приведено на рис. 8а. Протяжённость волновой картины вдоль гор составляла более 30 км. Облака располагались полосами параллельными горному хребту.

16 июля 1976 года волновые облака возникли в 5 час. 45 мин. И просуществовали до 12 час. 45 мин. Изображение этих облаков приведено на рис. 8б.



Рис. 7а. Фотография облачности 13 июля 1976 г. 8 ч. 37 м.

Рис. 7б. Космический снимок Крыма. 13 июля 1976 г. 8 ч. 47 м. Квадратом выделена зона облаков *As. lent*

Нижний ярус облаков находился на высоте 3,8–4,1 км., верхний на высотах от 4,3 до 4,8 км. На рис. 8в представлено обобщенное плановое положение облаков, наложенное на карту разломов Крыма. Наглядно видно, что волновые орографические облака выстраиваются над разломными зонами, параллельно береговой линии и линии горного хребта в районе Ялта – Алушта.

13 мая 1962 года наблюдения проводились с Северной стороны Крымских гор в пос. Соколиное. В 13 час. Возникли чечевицеобразные облака при натекании Южного воздушного потока, которые развились в ярко выраженную волновую систему, простиравшуюся от Соколиного до Бахчисарая. Фотография этой облачной системы приведена на рис. 9а.

По стереофотограмметрическим вычислениям нижнее основание облачной системы находилось на высоте 3600 метров. С помощью широкоугольной фото-



Рис. 8а. Фотография облачности 10 августа 1976 г. 9 ч. 16 м.



Рис. 8б. Фотография облачности 16 июля 1976 г. 10 ч. 48 м.

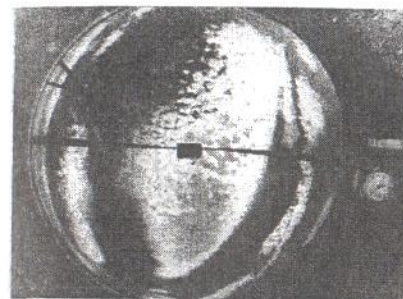
графической установки с применением сферического зеркала удалось построить пространственное положение облаков. На рис. 9б приведен снимок облачной системы, сделанный на широкоугольной установке.

На рис. 9в приведено плановое положение этой облачной системы, совмещенное с зонами разлома.



а

Рис. 9а. Волновые орографические облака, возникшие с северной стороны Крымских гор 13 мая 1962 г. 13 ч. 43 м



б



в

Рис. 9б. Снимок всего небесного свода, полученный широкоугольной камерой "сферическое зеркало" в 13 ч. 37 м

Рис. 9в. Плановое положение облаков совмещенное с разломными зонами

На плане чётко видно 6 параллельных полос с длиной волны порядка 5,5 км. Линейные размеры отдельных полос равны соответственно 30, 28, 30, 38, 30, 30 км. Высота верхнего уровня облаков достигала 4900 метров. Вертикальная мощность чечвицеобразных облаков составляла 1300 метров.

Сопоставляя плановое положение облаков с разломными зонами, видим, что облачные полосы выстраиваются как над разломными зонами, так и перпендикулярно им.

Подводя итог проделанной работы можно сказать, что определённая взаимосвязь между местоположением облаков и разломными зонами безусловно имеется.

Список литературы

1. Паламарчук В.К., Сорокин В.М., Шпак И.П. Разведка и охрана недр, №5, 2000.
2. Морозова Л.Н. Облачные офтографы земных недр. Природа, №5, 1988, с 55-56.
3. Гололобов Ю.Н., Лыткин В.М. Использование метеорологических факторов при морфоструктурном дешифрировании космических снимков. Проблемы морфологических исследований, 1989, №5, с. 104-109. Владивосток.
4. Муратов М.В., Непрочнов Ю.П. Строение дна Черноморской котловины и её происхождение. Бюлл. МОИП. Отд. Геологии, 1967, №5.
5. Байдов Ф.К. и др. О глубинном строении Черноморской впадины и смежных областей Причерноморья. В книге Тектоника и сейсмичность Причерноморья и Черноморской впадины, "Штиинца", 1974, Кишинёв.
6. Бибикова Т.Н., Проскурякова Т.А. О некоторых связях между процессами в атмосфере и землетрясениями в Крыму. Физическая экология, №3, 1998, Москва.
7. Сологуб В.Б. Глубинные сейсмологические исследования на Украине, Геофизический сборник, Наукова Думка, 1972, №77, Киев.
8. Пустовойтенко Б.Г., Каменобродский А.Г., Сейсмичность и некоторые вопросы сейсотектоники Крымского региона. Результаты комплексных геофизических исследований в сейсмоопасных зонах, Изд-во "Наука", 1978, Москва.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Горбунова Э.М.

Институт динамики геосфер Российской Академии Наук

Изучение реакции подземных вод на взрывное воздействие представляет особый интерес с точки зрения выделения геолого-структурных факторов, ответственных за проявления поствзрывных деформаций. Практическая ценность

результатов натурных исследований при подземных ядерных взрывах (ПЯВ) заключается в возможности использования экспериментальных данных для региональной оценки изменчивости состояния геологической среды при внешних воздействиях разной природы.

Для анализа основных закономерностей изменчивости гидрогеологической ситуации выбрана одна из площадок Семипалатинского полигона, расположенная в пределах долины р. Чаган, оконтуренная с южной стороны грядой мелко-сопочника. На отдельных ее участках выполнены детальные инженерно-геологические, гидрогеологические и геофизические исследования, проведенные в два этапа – до и после ПЯВ на протяжении ряда лет.

В геологическом отношении рассматриваемый массив горных пород характеризуется четкой тектонической двухярусностью. Нижний структурный этаж представлен породами палеозоя, верхний – осадочными отложениями мезо-кайнозоя. По характеру нарушенности массива на выбранной территории выделены разломы III порядка (в соответствии с СНиП 2.02.02-85, табл.5), мощность зоны дробления которых достигает первых десятков метров, протяженность – первые десятки километров. Эти структуры определяют положение регионального Калба-Чингизского разлома северо-западного простирания, являющегося зоной сочленения каледонид и герцинид (рис.1). В южной части площади исследований распространены породы среднего кембрия, в северной – отложения нижнего карбона. Разрывные нарушения более высокого порядка (преимущественно северо-западной, северо-восточной, субмеридиональной ориентации) и интрузивные контакты формируют структурный план тектонических блоков соответствующих рангов.

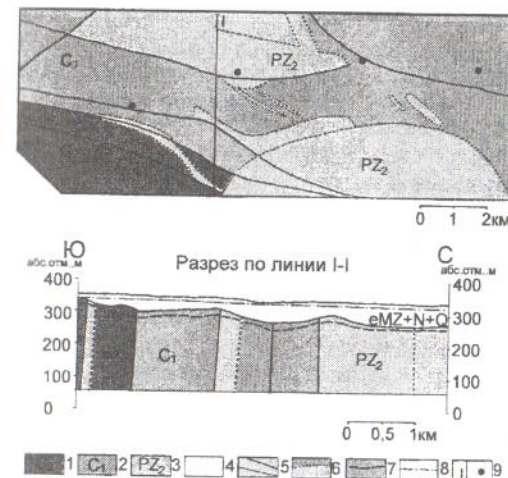


Рис.1. Схематическая карта территории исследований (1 – отложения среднего кембрия, 2 – отложения нижнего карбона, 3 – интрузивные образования верхнего палеозоя, 4 – отложения мезо-кайнозоя (на разрезе), 5 – разрывные нарушения III порядка, 6 – стратиграфическая граница, 7 – подошва зоны экзогенного выветривания (на разрезе), 8 – уровень подземных вод (на разрезе), 9 – линия разреза и экспериментальная скважина)

Породы палеозойского фундамента характеризуются изменчивостью вещественного состава по площади и глубине залегания, смяты в узкие складки северо-западного простирания и частично осложнены внедрением верхнепалеозойских интрузивных образований. Это отдельные массивы или пластовые тела дайки, приуроченные к разрывным нарушениям.

Поверхность кровли фундамента неровная с перепадами высот до 90 м (разрез на рис.1). В субширотном направлении на абсолютных отметках ниже 300 м четко прослеживается переуглубленная древняя долина реки шириной от 1 до 3 км (рис.2). Русло прареки извилистое, меандрирует. Северный борт палеодолины пологий в отличие от южного, характеризующегося относительным превышением над погребенным руслом до 60 м.

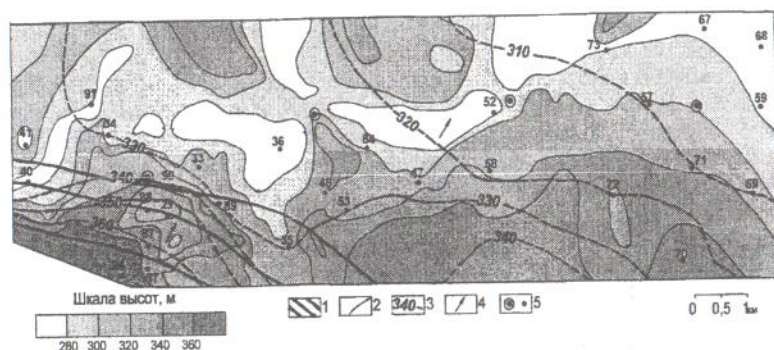


Рис.2. Схема палеорельефа территории исследований (1 – зона влияния регионального разлома, 2 – изогипсы палеорельефа, 3 – изолинии уровня подземных вод по состоянию на 06.89г. (абс.отм., м), 4 – основное направление движения подземных вод, 5 – скважина и ее номер: экспериментальная и наблюдательная)

Переуглубленные участки фундамента выполнены неоген-четвертичными образованиями мощностью от 10 до 70 м, залегающими субгоризонтально (разрез на рис. 1). На отдельных участках в кровле палеозойского фундамента распространены элювиальные песчано-глинистые образования коры выветривания мезозойского возраста. В южной части территории при маломощном чехле перекрывающих рыхлых отложений (первые метры) современное положение дневной поверхности соответствует палеорельефу.

Породы палеозойского фундамента в верхней части подвержены экзогенному выветриванию и отличаются высокой степенью трещиноватости и средней прочностью (модуль трещиноватости возрастает до 10–25, средние значения временного сопротивления одноосному сжатию в водонасыщенном состоянии не превышают 50 Мпа). По данным геолого-геофизических исследований мощность зоны экзогенной трещиноватости в среднем изменяется от 10 до 40 м, в

интрузивных образованиях достигает 60 м и более. Повышенная трещиноватость массива характерна для тектонически ослабленных и техногенно-нарушенных зон, сопряженных с участками проведения подземных ядерных взрывов.

Гидрогеологические условия территории обусловлены особенностями ее структурно-тектонического строения. Подземные воды приурочены к зонам экзогенного выветривания пород палеозойского фундамента и разрывным нарушениям. По условиям формирования, распространения и возрасту водовмещающих пород выделено три комплекса трещинных и трещинно-жильных напорно-безнапорных вод, гидравлически взаимосвязанных между собой:

— одоносный комплекс вулканогенно-осадочных и метаморфизованных отложений нижнего карбона,

— водоносный комплекс вулканогенно-метаморфизованных и осадочных отложений среднего кембрия,

— водоносный комплекс интрузивных образований верхнего палеозоя.

Основное направление движения подземных вод северо-восточное, в пределах развития интрузивного массива – северное. Локальные отклонения подземного потока обусловлены наличием разрывных нарушений и скрытых зон разгрузки в пределах структурно-эрозионных врезов. В зоне влияния Калба-Чингизского разлома уклон пьезометрической поверхности составляет 0,02–0,05, в северо-восточном направлении уменьшается до 0,005. Абсолютные отметки уровня снижаются от 360 до 310 м (рис. 2). Режим подземных вод преимущественно равнинный, характеризуется затрудненной взаимосвязью с режимобразующими факторами, в юго-западной части территории близок к предгорному. Естественные колебания уровней не превышают 3–5 см/сут.

Подземные воды вскрыты на глубине от 2 до 70 м, преимущественно напорные. Максимально высокие значения напора (до 66 м) установлены в зоне влияния регионального разлома. Пьезометрические уровни изменяются от 4,1 до 26,8 м. На отдельных участках подземные воды связаны с обводненными песчаными разностями неогена и супесчаными элювиальными образованиями мезозоя, залегающими в подошве осадочных отложений. Фрагментарно уровень подземных вод прослеживается ниже кровли пород фундамента на 2,2–3,8 м, воды безнапорные, что, вероятно, обусловлено региональным снижением пьезометрической поверхности в связи с проведением подземных ядерных взрывов. В местах выклинивания относительного водоупора (глин неогена) подземные воды подпитывают грунтовые воды, спорадически развитые в четвертичных отложениях. В последнем случае воды также безнапорные и уровень их расположен на глубине 2,1–4,5 м.

Литолого-фациальная неоднородность разреза и наличие разрывных нарушений обуславливают неравномерную обводненность и водопроницаемость вмещающей среды. В пределах структурно-тектонических блоков водопроницаемость пород составляет 0,1–1,3 м²/сут, в зоне влияния Калба-Чингизского разлома изменяется в северной части от 0,01 до 1 м²/сут, в южной – до 18,1 м²/сут, возрастая в отдельных случаях, вблизи дизъюнктивов более высокого порядка,

порядка, до 27,5 м²/сут. Для интрузивных образований характерны повышенные значения водопроницаемости до 34,5 м²/сут (табл.1).

Таблица 1.

Водоносный комплекс (индекс)	Преобладающий тип водовмещающих пород	Приуроченность	Гидрогеологические параметры (от-до/среднее значение)		
			Уровень воды Н ₀ , м	Напор Н, м	Водопроницаемость к _т , м ² /сут
C ₁	туфы, туффиты, туфопесчаники, песчаники, алевролиты, сланцы	в пределах СТБ	4,1-19,5	6,5-34,7	0,1-1,3
		в северной зоне влияния разлома I порядка	12,4-26,8	23,7-49,3	0,01-1
		вблизи дизъюнктивов	7,1-17,2	7,3-44,4	0,13-27,5
4,5-10,5	6/н		1,5-2,6		
C ₁	туфы, туфобрекчии, алевролиты, кварциты, роговики	в пределах СТБ	17,8	13,7	0,06
		в южной зоне влияния разлома I порядка	11	4	18,1
			10,2	6/н	3
вблизи дизъюнктивов	25,1	6/н	3,5		
PZ ₂	граниты, граносиениты	в пределах СТБ	3,7-5,8	9,1-14,3	0,7-12,5
			10,1-10,4	6/н	0,8-6,2
	в зоне влияния разлома I порядка	2-4,3	57,4-66	0,02-2,6	
		в пределах СТБ	4-8,6	4-8,6	0,4-34,5
малые интрузии гранодиоритов, порфиритов	вблизи дизъюнктивов		13,1	6/н	0,6
	11,1-13,6	6/н	0,3-5,6		

Неравномерность распределения наблюдательных скважин на участке не позволяет с высокой степенью точности оценить масштабы изменений гидро-

геологических условий. Но совместное группирование результатов экспериментальных наблюдений за техногенно-нарушенным режимом подземных вод подтверждает связь между структурно-палеогеоморфологическими элементами и степенью возмущения водоносного комплекса. Разрывные нарушения и границы крупных разнородных структур предопределяют неоднозначность и неравномерность проявления последствий взрывного воздействия на динамику подземных вод, выраженную в относительной асимметрии воронки депрессии.

Размеры сформированной при взрывном воздействии дополнительной гидрогеологической емкости и степень ее гидравлической взаимосвязи с водоносным комплексом через зоны наведенной трещиноватости контролируют глубину развития воронки депрессии. Так, в ближней зоне на удалении 0,3–0,7 км от эпицентра ряда взрывов даже спустя 3–5 месяцев зафиксирована остаточная амплитуда уменьшения напора подземных вод до 15 м, свидетельствующая о масштабах взрывного воздействия. В пределах выделенных водоносных комплексов выдерживается зависимость амплитуд изменений уровня поверхности от эпицентрального расстояния (рис.3).

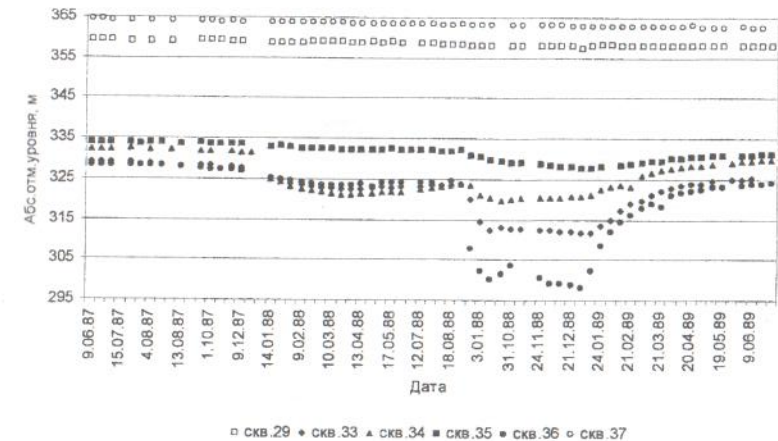


Рис.3. Графики изменения уровней подземных вод в наблюдательных скважинах

Прослеженное снижение пьезометрического уровня подземных вод происходит за счет частичной сработки статических запасов рассматриваемых водоносных горизонтов. Выделенный период относительной стабилизации минимальных значений уровней указывает на квазистационарный режим фильтрации. Синхронность процесса восстановления пьезометрической поверхности свидетельствует о заполнении техногенно-ослабленных зон подземными водами и о постепенном пополнении емкостных запасов за счет привлечения дополни-

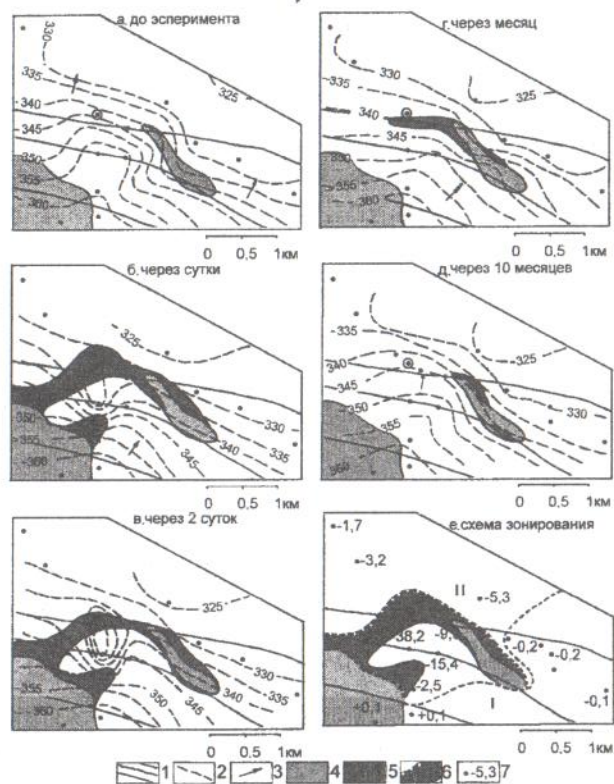


Рис. 4. Схема изменчивости гидрогеологических условий в пределах участка детализации (1 – зона влияния регионального разлома; 2 – изолинии уровня подземных вод (абс.отм., м); 3 – основное направление движения подземных вод; 4, 5 – область сдренированных пород: 4 – в естественных условиях, 5 – в техногенно-нарушенных; 6 – тип гидрорежима: I – естественный, II – частично нарушенный, III – измененный; 7 – скважина и амплитуда изменения уровня, м)

тельных источников естественных ресурсов (рис. 3). Продолжительность стабилизации гидрогеологической ситуации обусловлена близостью области питания и гидрогеологическими параметрами подземного потока (водопроницаемостью, градиентом подземного потока) [1].

Наложение областей с техногенно-нарушенным режимом подземных вод приводит к наиболее значимым изменениям урвневной поверхности и способствует развитию новых систем трещин, упрощению существующих. На участ-

ках скрытой разгрузки подземных вод или «гидрогеологических окон» за счет повышенной обводненности водовмещающих пород отмечено своеобразное «сглаживание» гидрогеодинамической нарушенности. В безнапорных условиях выявлено реальное снижение урвневной поверхности, свидетельствующее о дренировании верхней зоны, наиболее значимо выраженное в пределах регионального разлома.

Гипсометрическое положение погребенной поверхности обводненной части скального фундамента относительно гипоцентра взрыва (на разрезе к рис.1) определяет радиус влияния и продолжительность периода гидрогеодинамического возмущения. В условиях палеосклона с изменяющейся крутизной и повышенными значениями фильтрационных характеристик отмечена относительно быстрая стабилизация пьезометрической поверхности за исключением зоны влияния регионального разлома. Значительная протяженность зон гидрогеодинамического возмущения установлена в субширотном направлении вдоль погребенного русла. В пределах палеодолины с относительно застойным гидрогеологическим режимом и низкой водопроницаемостью вмещающей среды выделены длительные снижения урвневной поверхности.

Результаты режимных наблюдений в скважинах за изменением положения урвневной поверхности при взрывном воздействии использованы для составления схем распространения подземного потока в плане в изолиниях (в виде гидроизопьез или гидроизогипс на рис.4, а – 4, д). Конфигурация кривых указывает на неоднородность фильтрационных параметров пласта и влияние разрывных нарушений. Полученные схемы урвневной поверхности отражают различные стадии формирования воронки депрессии. Сопоставление схем движения подземных вод до и после проведения депрессии ядерного взрыва позволяет провести зонирование участка по степени нарушенности гидрорежима (рис.4, е).

Практически неизмененные гидрогеологические условия сохраняются в зонах, приближенных к области питания подземных вод (I тип гидрорежима – естественный). Участок с частично измененным режимом подземных вод с вариациями урвневной поверхности в пределах величины напора имеет преимущественное распространение и, возможно, свидетельствует об упругой реакции массива горных пород на взрывное воздействие (II тип гидрорежима). Формирование зон с техногенно-нарушенным режимом подземных вод обусловлено дренированием части водоносного горизонта, способствующим необратимым изменениям фильтрационных параметров (III тип гидрорежима). Наиболее значимые перепады гидростатических давлений зафиксированы в зонах влияния разрывных нарушений.

Совмещение схем временных срезов формирования подземного потока (рис.4 а – 4 д) и палеорельефа (рис.3) позволяет очертить существующие области сдренированных пород до проведения подземного ядерного взрыва (рис.4 а) и проследить их развитие по площади на протяжении всего периода наблюдений (рис.4 б – 4 д). Именно к участкам максимального распространения осушенных пород (рис.4 б) тяготеют зоны поствзрывных деформаций массива за

счет изменения гидростатического равновесия при переходе от напорных условий к безнапорному режиму фильтрации.

По данным расходомерии нарушение фильтрационной структуры массива, вызванное взрывным воздействием, выражено в изменении водопроницаемости пород преимущественно в верхней части разреза – в зоне экзогенного выветривания палеозойского фундамента. Ниже этой зоны, в пределах тектонически ослабленных участках, установлено сдвигание основных интервалов водопритоков с соответствующим увеличением или уменьшением их мощности. Наиболее значимые изменения фильтрационных параметров зафиксированы по скважинам с максимальными вариациями уровней подземных вод при взрывном воздействии.

Таким образом, проведение ПЯВ приводит к нарушению режима подземных вод, выраженному в формировании воронок депрессии и к устойчивой тенденции снижения положения уровня. Зонирование территории по степени нарушения гидрогеологических условий позволяет оконтурить потенциально неустойчивую область сдренированных пород, выделить основные источники восполнения сработанных статических запасов подземных вод и корректировать оценку проницаемости геологической среды.

В заключении автор выражает благодарность доктору геолого-минералогических наук Ю.К.Щукину и доктору физико-математических наук А.А.Спиваку за ценные советы и замечания, учтенные при составлении доклада.

Литература

1. Горбунова Э.М., Спивак А.А. Изменение режима подземных вод при подземных ядерных взрывах / *Геоэкология*. 1997. №6. С.29-37.

РЕГИСТРАЦИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.

Калинников И.И., Магукин А.Б., Матонин В.П.

Институт физики Земли РАН

Человеческие жертвы и материальный ущерб от крупных землетрясений, имеющие тенденцию к увеличению, могут быть существенно уменьшены, если будет решена проблема краткосрочного (от часов до нескольких суток) прогноза. Однако, несмотря на усилия многих исследователей, найти надежный краткосрочный предвестник до сих пор не удалось.

Накопленные в нашей лаборатории данные наблюдений за поведением высокочастотного крутильного маятника позволили сделать вывод о том, что крутильный маятник реагирует на слабый узкополосный микросейсмический сиг-

нал, появляющийся в микросейсмическом фоне накануне готовящегося землетрясения.

Реакция маятника выражалась в том, что среднее положение (положение равновесия) маятника смещалось в ту или другую сторону от первоначального иногда на весьма значительную величину (до нескольких десятков угловых минут) и, по-видимому, зависела не только от интенсивности сигнала, но и от ориентации его источника относительно маятника.

Для уточнения свойств крутильного маятника и выяснения причин его странного поведения, нами был изготовлен макет, на котором был проведен ряд экспериментов.

Макет имел следующие характеристики [2]:

Период основных маятниковых колебаний	~ 1сек;
Полоса пропускания	10^{-4} Гц
Время выделения сигнала	$10^3 - 10^4$ сек;

Было установлено, что диаграмма чувствительности крутильного маятника представляет собой полярно - симметричную многолепестковую фигуру (рис.1).

Каждой маятниковой степени свободы (а их у крутильного маятника 4) соответствует 4 лепестка. Всего 16. На рис. 1 показаны лепестки лишь двух основных степеней свободы, причем, размеры лепестков условно отражают величину отклика крутильного маятника на воздействие сейсмического сигнала одинаковой интенсивности. Обозначения "+" и "-" на каждом лепестке указывают знак выходного сигнала с прибора, если источник сейсмического излучения находится в зоне действия этого лепестка. Из характера диаграммы чувствительности следует, что прибор "видит" лишь те источники сейсмического сигнала, излучение которых попадает в один из его лепестков. Другими словами, высокочастотный крутильный маятник является высокочувствительным узконаправленным приемником микросейсмических сигналов (спектральным микросейсмическим фон). Была разработана приближенная теория нового прибора, так как система уравнений, описывающих поведение крутильных весов, аналитического решения не имеет, а численное интегрирование их крайне затруднено из-за отсутствия устойчивых методов решения задач т.н. "жесткого" типа. Результаты исследований опубликованы в работе [6].

С макетом спектрального анализатора нами была проведена серия поисковых наблюдений, которые велись в дневное время с целью отработки методики распознавания момента появления сейсмического сигнала малой интенсивности в микросейсмическом фоне. По нашему мнению, этот микросейсмический сигнал генерируется в очаге землетрясения непосредственно перед главным событием, и, следовательно, является краткосрочным (оперативным) ПРЕДВЕСТНИКОМ, а малая интенсивность излучения не позволяет обнаружить его другими приборами. Завершение этого этапа работ позволило поставить вопрос об оперативном прогнозе землетрясений [5], который заключается в определении времени, места и мощности предполагаемого события. Прогноз основан на том, что процесс подготовки землетрясения сопровождается изменением спектрального состава микросейсмического излучения, испускаемого механической системой

№	Место	М	Координаты
1	Турция	4.7	40.0 С-42.3 В
2	Индонезия	7.5	1.0 С-123.0 В
3	Грузия	4.2	42.0 С-44.0 В
4	Соломоновы о-ва	7.0	8.4 Ю-159.0 В
5	Индонезия	6.5	7.0 Ю-150.0 В
6	Индия	7.0	31.4 С-78.7 В
7	Куропи	5.5	44.6 С-150.0 В
8	Далекий	4.6	41.8 С-47.1 В
9	Узбекистан	4.3	38.2 С-66.1 В
10	Туркмени	4.5	37.6 С-65.6 В
11	Туркмени	4.5	36.9 С-65.1 В
12	Нефтегорск	7.6	52.8 С-143.1 В

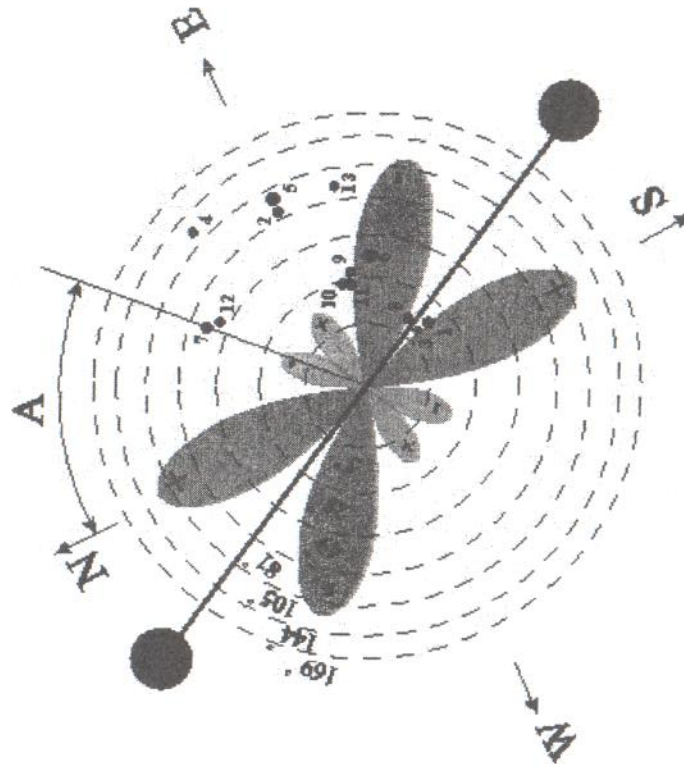


Рис. 1. Диаграмма чувствительности крутильного маятника с пространственным распределением очагов землетрясений.

очаг - вмещающая его среда. Это изменение выражается в появлении в спектре микросейсм узкополосной квазимонохроматической составляющей чрезвычайно малой интенсивности непосредственно перед главным событием (за несколько часов), когда процесс подготовки очага перешел в стадию его необратимого разрушения [1].

Краткосрочный прогноз землетрясения состоит в определении места, времени и мощности события. Прогноз **места** будущего землетрясения основан на определении направления прихода предвестника с помощью трёх спектраллизаторов микросейсмического фона (как минимум), разнесенных на достаточное расстояние друг от друга. Прогноз **времени** события основан на том, что интенсивность предвестника монотонно возрастает по мере приближения главного события. Прогноз **мощности** события осуществляется по формуле [3]:

$$T = 10^{0.33M-1.5},$$

где T - период предвестника, M - магнитуда землетрясения (формула справедлива для $M > 5.2$). Настроив спектраллизатор на период T , мы будем знать, что через 1,5 часа после появления предваряющего микросейсмического излучения с данным периодом должно произойти землетрясение магнитуды M . Если оно не происходит, то прогнозируемая мощность землетрясения увеличивается.

Из приведенных параметров спектраллизатора следует, что он должен "чувствовать" предвестники от землетрясений с магнитудой $M > 5$.

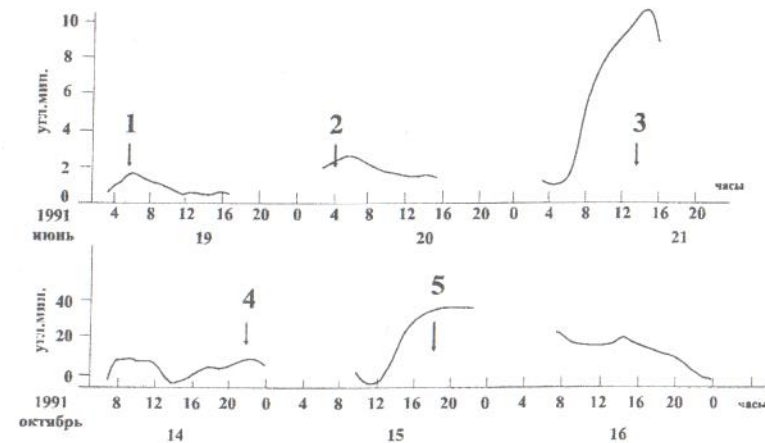


Рис. 2. Изменение положения равновесия крутильного маятника перед землетрясением; 1-5 - номера землетрясений (рис. 1); 4 - землетрясение в области сейсмической тени.

На рис.2 представлены фрагменты записей изменения среднего положения крутильного маятника с нанесенными на них землетрясениями. Сопоставление характера отклика маятника на сейсмический сигнал с пространственным расположением источника позволило сделать вывод о том, что оперативный предвестник действительно появляется в спектре микросейсм за несколько часов до главного события.

Следует отметить, что во время наблюдений за поведением крутильного маятника, было установлено, что крупные землетрясения с $M \sim 7$, помимо "оперативного" предвестника, появляющегося в спектре микросейсм за несколько часов до события, имеют предвестник, названный нами устойчивым "поведением в среднем". Другими словами, в поведении крутильного маятника наблюдается монотонный дрейф среднего положения, длительностью до нескольких суток, завершающийся появлением оперативного предвестника (Рис. 3).

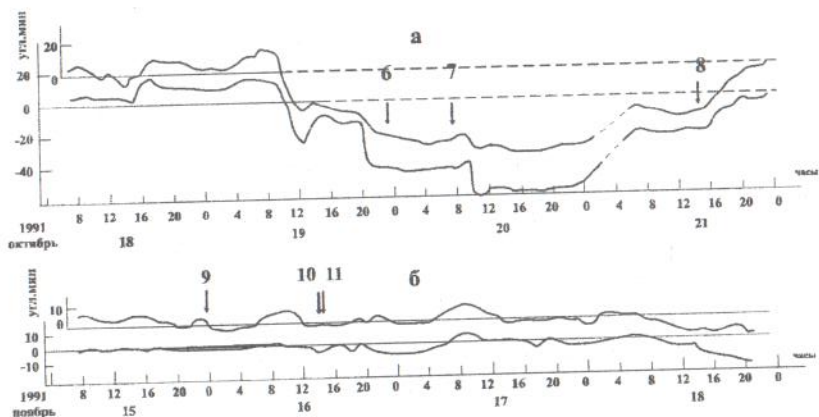


Рис.3. Изменение положения равновесия двух крутильных маятников. Синхронная запись: а – сейсмически активный период; б – сейсмическое затишье. 6 – 11 номера землетрясений рис. 1.

Это обстоятельство было учтено при разработке программы дальнейших работ с макетом прибора. Так как непрерывные наблюдения организовать не было возможности, проводились лишь дневные наблюдения, целью которых являлось уловить это "поведение в среднем". Помимо того, что землетрясения с магнитудой $M > 7$ происходят редко, задачу усложнило то обстоятельство, что предвестник "должен" иметь азимут, совпадающий с азимутом максимальной чувствительности спектроанализатора.

На рис.3 приведена запись изменения среднего положения двух близких по своим характеристикам маятников, которые находились в одном боксе, но на

разных фундаментах. Для оценки возможностей стандартной сейсмометрической аппаратуры, на тех же фундаментах был установлен спектроанализатор на базе двух ортогонально расположенных друг относительно друга сейсмометров С-5-С, имеющий перестраиваемую по частоте полосу пропускания шириной 10^{-2} Гц и порог чувствительности 10^{-8} м. Предварительно с помощью этого спектроанализатора был исследован спектральный состав фона микросейсм в лаборатории. Он оказался обычным для индустриального района города: в полосе частот от 0.2 до 2 Гц амплитуда микросейсмического фона составила величину < 1 мкм по всем направлениям (изотропная составляющая). На частоте 3 Гц амплитуда фона достигала величины - 20 мкм. За все время наблюдений никаких предвестников с помощью этого прибора обнаружено не было.

В 12 часов 19 октября 1991 г. был зарегистрирован первый оперативный предвестник, а в 22 часа второй предвестник. Задержка на 10 часов означала, что ожидаемое землетрясение будет иметь магнитуду $M > 5$. Землетрясение с $M = 7$ произошло в 0 часов 23 мин 20 октября в Индии в азимуте, соответствующем отрицательному лепестку (см. рис.1). Последующий анализ данных эксперимента с привлечением официальных материалов по сейсмической обстановке подтвердил правильность первоначальных выводов о получении предвестника за 12 часов до основного события. Спектроанализатор на базе С-5-С зарегистрировал лишь сейсмическую волну от собственно землетрясения.

Дополнительно были проведены работы по определению разрешающей способности спектроанализаторов и оценке амплитуды предвестника. Они оказались равны соответственно 10^{-12} м и $3 \cdot 10^{-11}$ м. Столь малые значения амплитуд предвестников по нашему мнению объясняют невозможность выделения предвестника традиционными средствами.

Дальнейшие работы по совершенствованию прогностической аппаратуры и методики оперативного прогноза были свернуты из-за отсутствия соответствующего финансирования. Проводились лишь эпизодические наблюдения, в основном, с целью поддержания работоспособности макетов приборов и проводилось моделирование спектроанализатора на ЭВМ. Однако даже в таком режиме удалось зарегистрировать оперативный предвестник от землетрясения в Нефтегорске 27.05.1995 г. с $M = 7.6$

Эта запись представлена на рис 4. Отсутствие устойчивого поведения в среднем объясняется прерывистым характером наблюдений.

Независимо от нас в Казахстане в организации КазСельЗащита велись аналогичные исследования. Была создана сеть пунктов наблюдений за микросейсмическим фоном при помощи крутильных маятников. Казахские коллеги любезно предоставили в наше распоряжение фрагменты записей, полученных на пунктах Медео и Узун-Агач в январе 2001 года.

На представленном фрагменте отчетливо виден характерный монотонный дрейф среднего положения маятника ("устойчивое поведение в среднем"), предвещающий оперативный предвестник землетрясения магнитудой $M = 8.0$, произошедшего в Индии 26.01.2001.

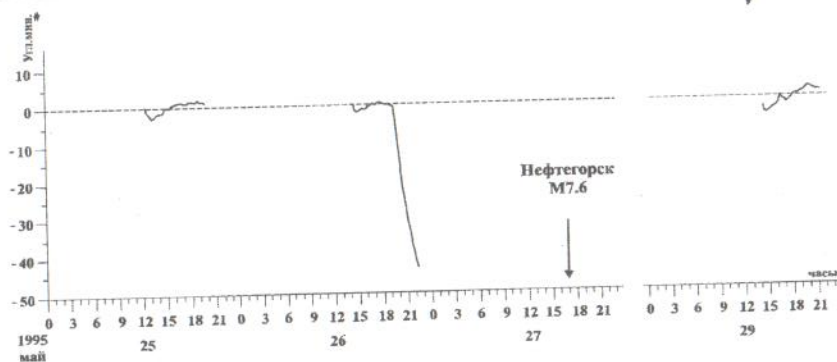


Рис.4. Изменение положения равновесия крутильного маятника перед землетрясением М7.6 в Нефтегорске 27.05.1995г.

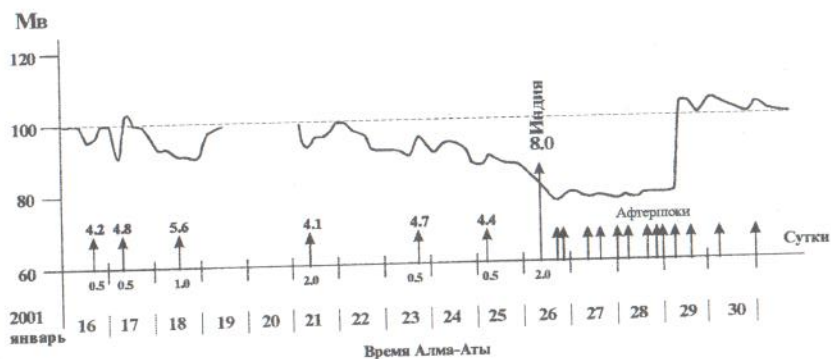


Рис.5.Изменение положения равновесия крутильного маятника на пунктах "Медео" и "Узун-Агач" перед землетрясением в Индии 26.01.2001г.

Таким образом, по совокупности полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Существует краткосрочный предвестник готовящегося землетрясения. Предвестником является квазимонохроматический сейсмический сигнал малой интенсивности, излучаемый очагом готовящегося землетрясения, который вошёл в стадию необратимого разрушения.
2. На основе крутильного маятника разработан прибор: спектроанализатор микросейсмического фона, способный регистрировать предвестник.

3. Из приведенных материалов следует, что землетрясения, произошедшие в 1991 году в Цхинвали и в Индии и в 1995 году в Нефтегорске, были бы предсказаны при наличии всего трех станций наблюдения. Убытки только от этих землетрясений в тысячи раз превысили расходы, требуемые на реализацию программы оперативного прогноза.

4. ТРИ станции наблюдения, оснащенные спектроанализаторами микросейсмического фона, средствами анализа и связи, расположенные в несейсмических районах и разнесенные на достаточное расстояние, образуют сеть, охватывающую оперативным прогнозом страны северного полушария.

5. Построена аналитическая модель спектроанализатора микросейсмического фона, что позволяет ставить вопрос о метрологическом обеспечении оперативного прогноза землетрясений.

Литература

2. Зенков В.С., Калинин И.И., и др. "Эквивалентная шумовая температура в лаборатории и землетрясения". ДАН, 1978, т.239, 1. стр.74-76;
3. Зенков В.С., Калинин И.И., и др. "Оперативный прогноз сильных землетрясений", ДАН. 1980. т.234, 2, стр.325,
4. Калинин И.И. "Консервативные системы для геофизических исследований", М. Наука, 1983, стр.88-121;
5. Калинин И.И., Матюнин В.П., Ньюнина Н.А. "Свойство слабо демпфированных крутильных весов с вертикальной нитью подвеса." Физика Земли. 1994г., 4, стр.41-54;
6. Калинин И.И. "Горизонтальные крутильные весы - сейсмоприёмник с многолепестковой диаграммой направленности". ДАН, 1991, т.314, 4. стр.868-872;
7. Калинин И.И., Матюнин В.П., Ньюнина Н.А., Гегманская В.В. "Оперативный прогноз - реальность." ДАН, 1992, т.232, 6, стр.1068-1071.

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Ултин Р.В., Назаров С.В.

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Под воздействием различных видов промышленно-хозяйственного освоения территорий все или отдельные компоненты среды изменяются, что вызывает преобразование всего природно-промышленного комплекса. Учет взаимоотношений между структурными единицами комплекса затруднен потому, что, во-первых, существенной его составляющей является сложно построенная геологическая среда; во-вторых, многие крупные технические сооружения, возведен-

ные без достаточных инженерно-геологических изысканий, эксплуатируются длительное время, что приводит к необратимым (качественным и количественным) изменениям физико-геологических характеристик среды и делает практически невозможным ретроспективную оценку их фоновых (первичных) показателей. Поэтому возникает необходимость организации в пределах природно-промышленных комплексов геофизического мониторинга – системы инструментальной оценки современного техногенного воздействия на среду, факторов геоэкологического риска в процессе функционирования инженерных объектов и прогнозирования динамики свойств, как среды, так и технических сооружений. Представляется, что основными геотехническими комплексами, в пределах которых перспективно применение геофизического мониторинга, являются: участки поверхностных водотоков, экстремально загрязненных производственными отходами; районы размещения накопителей промышленных стоков; насыпные (грунтовые) гидротехнические сооружения; участки инженерно-хозяйственного освоения криолитозоны и т.д. В пределах указанных объектов техногенное воздействие на среду приводит к изменению ее электрофизических характеристик. Поэтому для исследования таких природно-промышленных систем перспективно применение геоэлектрического мониторинга.

Мониторинг экологического качества поверхностных вод

На основе анализа гидрохимических свойств речных вод Уральского региона за десятилетний период установлено, что суммарное содержание тяжелых металлов (железо, марганец, медь, цинк, никель, хром) в единицах предельно-допустимых концентраций (ПДК) существенно превосходит нормативный показатель, равный единице. Для участков рек после крупных промышленных центров (Екатеринбурга, Красноуральска, Нижнего Тагила, Первоуральска и др.) суммарная концентрация тяжелых металлов ($\Sigma C_{\text{тм}}$) превосходит 100 ед. ПДК, что свидетельствует о катастрофическом загрязнении речных вод.

Изучены соотношения между суммарным содержанием тяжелых металлов и общей минерализацией воды (ΣU) в пределах аномально загрязненных участков водотоков. Установлены устойчивые корреляционные связи между указанными гидрохимическими показателями. Это означает, что при экстремальном загрязнении речных вод оценка их экологического качества (определение суммарного содержания тяжелых металлов) возможна по данным об общей минерализации воды.

В геофизике широко применяется резистивиметрический способ изучения минерализации поверхностных и подземных вод по их удельному электрическому сопротивлению. Учитывая установленные корреляционные связи, предложено использовать резистивиметрию для мониторинга содержания тяжелых металлов в речных водах.

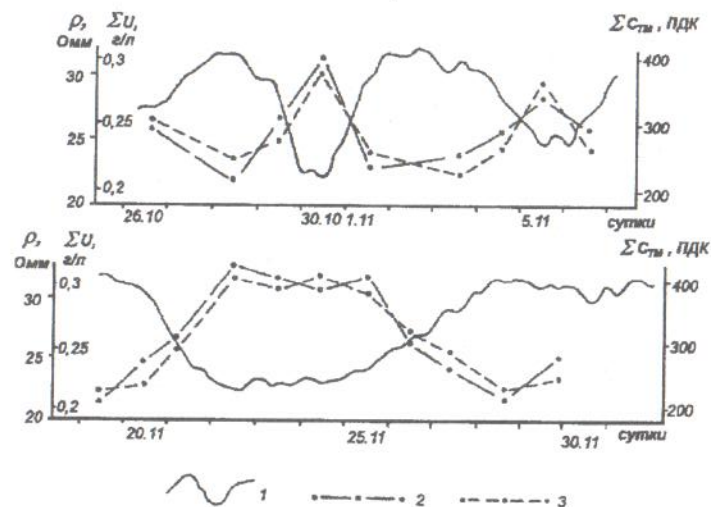


Рис.1. Мониторинг качества воды р.Чусовой.Графики: 1 – электросопротивления (ρ); 2 – общей минерализации (ΣU); 3 – концентрации тяжелых металлов ($\Sigma C_{\text{тм}}$). Точки на графиках ΣU и $\Sigma C_{\text{тм}}$ – экспериментальные данные.

Экспериментальные исследования выполнили в гидрологическом пункте на реке Чусовой. Проведено несколько циклов непрерывных наблюдений продолжительностью от 10 до 19 суток за величиной электросопротивления речной воды. Одновременно отбирали пробы воды (как правило, раз в сутки) и осуществляли их химический анализ. Во всех циклах мониторинга фиксируется согласованное изменение во времени электросопротивления воды, с одной стороны, и общей ее минерализации и суммарной концентрации тяжелых металлов, с другой (рис.1).

Точность определения $\Sigma C_{\text{тм}}$ по измеренному сопротивлению воды сравнительно не велика ($\pm 15\%$). Но при суммарной концентрации тяжелых металлов более 100 ПДК это не принципиально. С другой стороны, резистивиметрический мониторинг осуществляется в длительном непрерывном режиме, что позволяет отслеживать любые изменения экологического качества поверхностных вод.

Изучение миграции загрязненных подземных вод

Основными источниками загрязнения подземных вод являются накопители промышленных отходов металлургических, химических, горнодобывающих, обогатительных и других производств, в технологических процессах которых используются главные и вспомогательные материальные ресурсы. Главные

компоненты – это основа конечного продукта. Вспомогательные материалы и реагенты обеспечивают выполнение необходимого технологического режима для придания окончательному продукту заданных свойств, но сами, как правило, не входят в его состав, а выводятся из технологической цепи на определенных ее участках в виде отходов производства, загрязняющих атмосферу, литосферу, гидросферу. Твердые и жидкие промышленные отходы складываются в специальных хранилищах. Но в связи с отсутствием или потерей в процессе длительной эксплуатации гидроизоляционной стойкости накопителей отходов и дамб, их ограждающих, промышленные стоки инфильтруются в геологическую среду, обогащают подземные воды.

Основными физико-геологическими моделями, приоритетными для миграции загрязнения от поверхностных источников, являются: пластово-поровая и тектонически-трещинная. Первая соответствует распространению эллипсоидально-делювиальных отложений и имеет мощность до 20 м. Тектонически-трещинная модель приурочена к крутопадающим зонам разрывных нарушений в коренных породах. Расчетными оценками и натурными экспериментами показано, что ореолы загрязнения для пластово-поровой модели имеют линейно-вытянутую форму и ориентированы в направлении стока подземных вод. Пространственное положение флангов ореола при длительном поступлении загрязнителя в среду практически остается неизменным, а смещается фронт ореола со скоростью движения подземных вод. Подобная морфология миграции загрязнителя среды характерна и для разрывных нарушений в коренных породах.

Исходя из рассмотренных физико-геологических особенностей сред, следует, что геоэлектрический мониторинг должен ориентироваться, во-первых, на отслеживание положения фронтальной части ореола загрязнения; во-вторых, на контроль распределения токсикантов по глубине и выявление их смещения в основании разреза.

Если пространственное положение ореола загрязнения установлено, то профиль, по которому осуществляется геоэлектрический мониторинг, размещается за пределами фронтальной части ореола с учетом направления его миграции. Чтобы исключить влияние на результаты режимных наблюдений метеорологических, геодинамических и других факторов, измерения необходимо выполнять не только на прогнозном (экспертном), но и на экологически чистом (фоновом) участке. В этой ситуации эффективно применение электромагнитных зондирований, позволяющих зафиксировать, во-первых, подход фронта ореола загрязнения к экспертному профилю; во-вторых, определить вертикальную мощность распределения в разрезе загрязненных подземных вод.

Такой геоэлектрический мониторинг осуществляли в районе водозаборной скважины, обеспечивавшей водопотребление крупного поселка. Геофизическими работами изучено пространственное положение распространения загрязнения в рыхлых отложениях и установлено положение фронтальной части ореола. Вблизи скважины с 1993 года организованы наблюдения по методике электромагнитных зондирований. Ежегодно проводили два – три цикла измерений. Если в 1993 году электросопротивление рыхлых отложений вблизи скважины со-

ставляло 50 – 60 Ом.м, то с 1994 г. оно начало уменьшаться и составило в 1995 г. 23 – 26 Ом.м (рис.2). Сделано заключение о подходе фронта ореола загрязненных вод к скважине. Геофизические данные подтверждены результатами химического анализа проб воды, отобранных из гидрогеологических скважин, расположенных вблизи профиля мониторинга. Поэтому водоснабжение поселка из скважины прекращено.

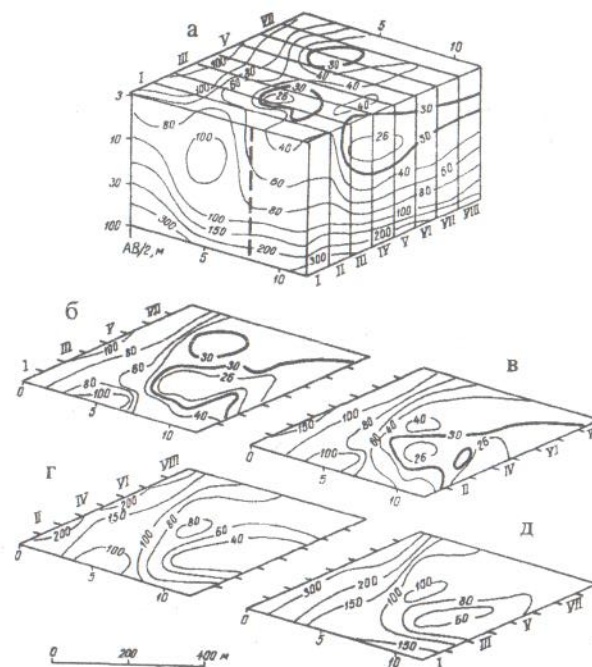


Рис.2. Геоэлектрический мониторинг у водозаборной скважины. Планы динамики электросопротивления горных пород соответствуют разностям питающих заземлений (м): а – 5.6; б – 10; в – 20; г – 56; д – 100. Время измерений (годы): I – 1993; II – 1994; III – 1995; IV – 1996; V – 1997; VI – 1998; VII – 1999; VIII – 2000. Пунктир – проекция скважины на профиль измерений. Цифры на изолиниях – значения электросопротивления в Ом.м.

Если в основании геологического разреза залегают тектонически нарушенные, обводненные породы, то за счет гравитационной дифференциации проток, мигрирующие по покровным образованиям, смещаются в раздробленные коренные породы. Контроль загрязнения подземных вод, локализующихся в тектонических зонах, осуществляется по методике электромагнитных зондиро-

ваний. Такого вида геоэлектрический мониторинг выполнен на профиле протяженностью 2,6 км, расположенном в пятистах метрах от крупного накопителя промышленных отходов. Центральная часть профиля пересекает ореол загрязнения. Режимные наблюдения проведены в течение 1995 – 2000 г.г. В рыхлых отложениях выделено два участка, в пределах которых электросопротивление пород менее 35 Ом.м. Первый имеет горизонтальную мощность 900 м, а второй – около 300 м. В течение периода мониторинга ширина указанных участков практически не меняется. В то же время устанавливается расширение проводящей зоны в основании разреза: горизонтальная мощность ее составляла в 1995 г. 225 м, а в 2000 г. – 511 м. На этом участке уменьшилось электросопротивление пород с 25–27 Ом.м до 18–20 Ом.м (рис.3).

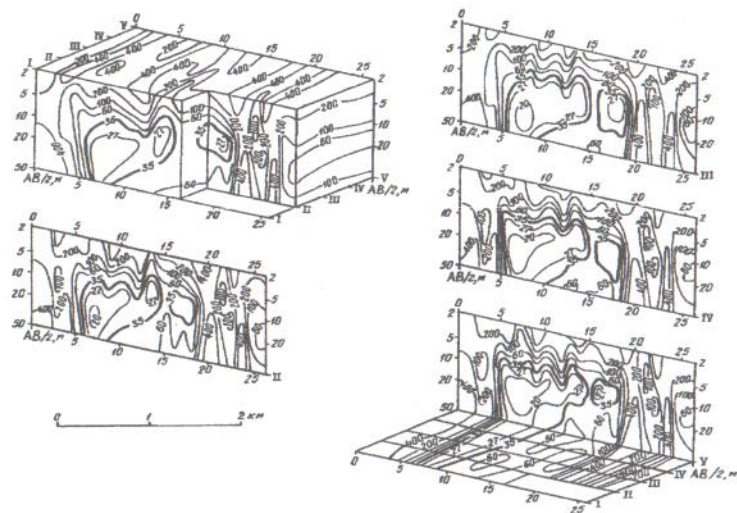


Рис.3. Геоэлектрический мониторинг смещения загрязнения в основании разреза. Разрезы кажущегося сопротивления представлены для времени наблюдений (годы): I – 1995; II – 1997; III – 1998; IV – 1999; V – 2000.

Сделано заключение о развитии в коренных породах тектонически нарушенных пород и смещении в них загрязнения из рыхлых образований. Этот вывод подтвержден скважиной, пройденной в 1999 г. в районе пикета 8.

Контроль грунтовых гидротехнических сооружений

При возведении грунтовых гидротехнических сооружений (плотин, ограждающих дамб и др.) используется глинисто-щебнистый материал. Насыпной объект представляет собой грунтовое образование сложного гранулометрического состава. Под влиянием гидравлического напора вода из ограждаемого во-

дохранилища имеет тенденцию к просачиванию сквозь тело плотины. Образуются микроканалы утечек воды из водосма. На этих участках происходит переувлажнение грунтового материала, что может вызвать потерю прочностных свойств гидротехнического сооружения и его разрушение на участке просачивания воды. Поскольку электропроводность насыщенного материала существенно зависит от его увлажненности, то для контроля состояния грунтовых плотин, дамб перспективно применение геоэлектрического мониторинга.

Длительные режимные исследования выполнены на грунтовой плотине, ограждающей крупное водохранилище. Длина плотины составляет 1,7 км. В 1993 г. комплексом геоэлектрических методов (дипольного электропрофилеирования, электромагнитного зондирования, заряда и естественного поля) на трех профилях (по пологоту, по средней части откоса и у подножья плотины) выделен участок, в пределах которого, по предположению, происходит просачивание воды из водоема. Поэтому здесь был организован геоэлектрический мониторинг. В течение 1993 – 2000 г.г. выполнено 17 циклов наблюдений методами дифференциального электропрофилеирования и электромагнитных зондирований. По разрезам электросопротивления по профилю у подножья плотины выявлены три проводящих области. Первая в районе пикетов 50 – 55, вторая – 58 – 64, третья – 68 – 72 (рис.4).

Вторая и третья области сохраняют свою устойчивость в период мониторинга. А для первой характерна следующая динамика: во-первых, отчетливое смещение проводящего участка (по изолинии 25 Ом.м) в сторону уменьшения номеров пикетов и в основание разреза; во-вторых, расширение электропроводной зоны в близповерхностных отложениях. Подобные данные получены по методике дифференциального профилирования (таблица 1)

Таблица 1

№№ п.п.	Центр проводящей зоны, пикет	Мощность зоны, м		
		1997 г.	1999 г.	2000 г.
1	51	100	180	220
	62	63	74	72
	71	25	25	27

Сделано заключение о просачивании воды сквозь тело плотины в интервале пикетов 50 – 55, что подтверждается режимными наблюдениями в гидрогеологических скважинах.

О геофизическом мониторинге в криолитозоне

При возведении инженерных сооружений, строительстве автомобильных и железных дорог в районах Крайнего Севера нарушается естественное термическое равновесие почвенно-грунтовых комплексов. Это приводит к взаимосвязанным изменениям характера, направленности и интенсивности природных процессов. В результате разрушается и погружается кровля многолетних пород, развивается термокарст, эрозия, солифлюкация и т.д., что приводит к аварийным ситуациям.

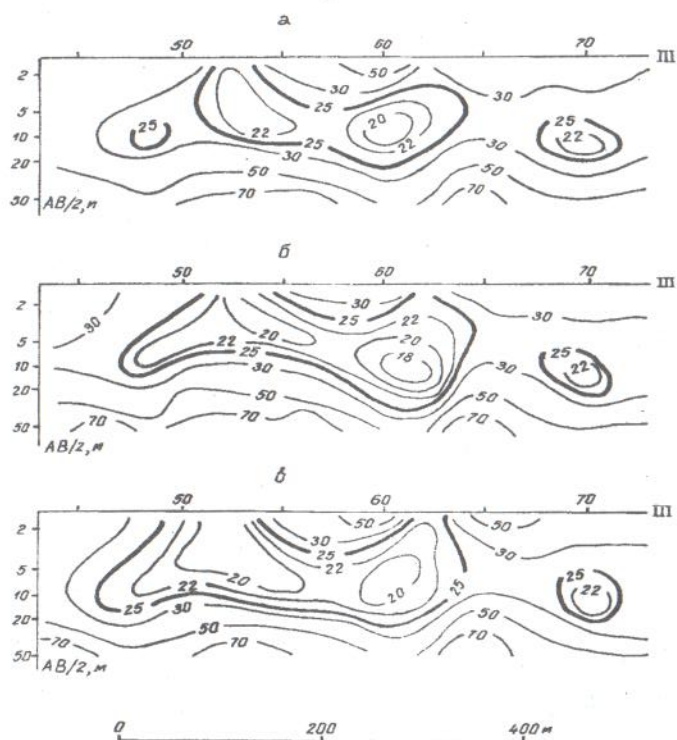


Рис. 4. Разрезы кажущегося электросопротивления пород по профилю у подножья плотины. Время наблюдений (годы): а – 1998; б – 1999; в – 2000. Цифры на изолиниях – значения электросопротивления в Ом.м.

Геофизические исследования проводили в районе Ямбургского газово-конденсатного месторождения. Использовали вертикальные электроразведочные и шпуровую термометрию. Часть полученных результатов приведена в таблице 2.

Из данных таблицы 2 следует, что во всех случаях нарушения тундрового растительного покрова происходит деградация многолетнемерзлых пород и погружение их кровли. В пределах некоторых обследованных инженерных сооружений при использовавшихся максимальных разносах питающих заземлений (60 м) не удалось достигнуть кровли мерзлых пород.

Таблица 2

Характеристика пунктов наблюдений	Талый слой		Электросопротивление основания разреза, Ом.м	Температура на глубине около 1 м, град. С
	Мощность, м	Электросопротивление, Ом.м		
1	2	3	4	5
Не нарушенная тундра	0,3-0,9	700-800	6200-18000	–
Проход гусеничной техники	5,0-7,0	200-700	1840-2500	3,5-4,0
Рабочий поселок	5,2-6,0	140-600	2000-3700	3,0-4,5
1	2	3	4	5
Песчаный карьер	7,5-11,0	180-640	1800-4000	–
Площадка разведочной скважины	5,7-7,0	220-610	2300-3000	4,0-4,8
Компрессорная станция	6,0-11,0	65-120	420-600	6,0-7,0
Железнодорожная насыпь	2,0-8,0	100-220	700-1000	–

Рассмотренные материалы экспериментальных исследований подтверждают высокую эффективность геоэлектрического мониторинга при контроле экологического качества природной среды, подвергающейся негативному техногенному воздействию. Очевидно, что круг задач и объектов изучения не ограничивается приведенными примерами. Но во всех случаях, когда влияние природно-промышленных комплексов сопровождается изменением электрофизических свойств близповерхностных породных образований, геоэлектрический мониторинг является основным при получении информации о динамике экогеологического состояния среды.

СЕКЦИЯ 4

БИОФИЗИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАРИАЦИЙ ГЛОБАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЧИСЛА ЭКСТРЕННЫХ ОБРАЩЕНИЙ ЗА НЕОТЛОЖНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩЬЮ В Г.ТОМСКЕ

Бардак А.Л*., Каложин В.В., Головачева О.Б.

**Сибирский физико-технический институт, Сибирский государственный медицинский университет. г.Томск*

В настоящее время оценке влияния гелиогеофизических параметров окружающей среды на различные биологические системы посвящено значительное количество публикаций [2-5,7]. Большинство проведенных исследований связаны, главным образом, с задачами определения биологической значимости солнечной активности и магнитной возмущенности для различных биологических систем. Хотя этот факт в настоящее время, по-видимому, не требует доказательств, тем не менее, необходимость проведения дополнительных экспериментальных работ связана в первую очередь с неоднозначностью полученных результатов.

Подобная несогласованность выводов может быть вызвана различными причинами, к которым в частности можно отнести использование недостаточно точных методов статистического анализа, нескритический подход при получении биомедицинских параметров и ряд других методических недостатков. По-видимому, различие в результатах может быть также связано и с тем, что существующие взаимосвязи между параметрами геофизической среды комплексны и зачастую воздействия одного физического фактора на биомедицинский параметр может быть модифицировано другим агентом физического окружения. Подобные эффекты должны приводить к значительной нелинейности корреляции между рассматриваемыми переменными. При этом использование статистических показателей, не учитывающих эту особенность, обязательно будет приводить к неадекватным выводам относительно степени и знака корреляции. Поэтому в настоящей работе нами делается попытка учесть возможность модификации биологических эффектов гелиогеомагнитной активности различными физическими агентами и как следствие этого нелинейность анализируемых взаимосвязей.

Низкочастотные электромагнитные поля (НЧ ЭМП) окружающей среды тесно связаны с состоянием глобальной гелиогеофизической обстановки [9]. Они являются тем непосредственным физическим окружением, с которыми большинство биологических систем имеют постоянный контакт. Следова-

но, учитывая аргументированную рядом литературных источников биологическую значимость НЧ ЭМП [1,7], можно предположить, что именно этот фактор окружающей среды способен каким-либо образом модифицировать биоэффекты гелиогеофизических параметров. Для того чтобы ответить на этот вопрос, в первую очередь, необходимо сравнить величину эффектов локального электромагнитного фона (ЭМФ) с эффектами комплекса параметров глобальной гелиогеофизической среды.

В соответствии с этим, цель настоящего исследования заключалась в сравнительной оценке величины сопряженности биомедицинских параметров с вариациями регионального ЭМФ и факторами глобальной гелиогеофизической обстановки.

Для достижения поставленной цели используемые параметры гелиогеофизической среды были разбиты на две группы - показатели глобальной и локальной возмущенности.

Первая группа параметров включала среднесуточные значения: планетарного А-индекса (первый (A_p) и второй момент (σ_{A_p}) выборочной статистики),

чисел Вольфа (R), потока дециметрового ($\lambda=10.7$ см) радиоизлучения и вариации числа субвспышек на Солнце (Sub). Следует отметить, что на уровне качественного сопоставления малые вспышки принципиально не отличаются от больших [6]. Они так же связаны с генерацией рентгена и радиовсплесков, усиление жесткой электромагнитной радиации, радиоэмиссии и выхода высокоэнергичных частиц. Однако число субвспышек составляет примерно 80% от общего числа вспышек [6], поэтому при исследовании влияния вспышечной активности Солнца на биомедицинские параметры, целесообразно использовать именно данную характеристику.

Локальные показатели возмущенности магнитного поля были представлены A_k -индексом (данные обсерватории г. Новосибирска расстояние ≈ 200 км от г. Томска) и вариациями региональных магнитных полей. Данные по вариациям F , A_k и динамике субвспышек были предоставлены Институтом прикладной геофизики (г.Троицк). Показатели глобальной магнитной возмущенности (A_p -индекс) и числа солнечных пятен (R) были взяты в сети Интернет на сайте центра NGDC (National Geophysical Data Center, web site: <http://www.ngdc.noaa.gov/ngdc.html>). Региональный электромагнитный фон оценивался по среднесуточным значениям амплитуд вариаций ортогональных компонент вектора магнитного поля ($\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2$) на основе данных, предостав-

ленных отделом "Космической геофизики и экологии" Сибирского физико-технического института (г. Томск). В качестве биомедицинского параметра были взяты вариации числа экстренных вызовов Скорой медицинской помощи, представленные станцией Скорой медицинской помощи города Томска. Анализировались годовые реализации на интервале времени октябрь 1998 - октябрь 1999 гг. Общее число вызовов по группам заболеваний на данный период времени представлено в таблице 1.

Таблица 1. Количество экстренных вызовов Скорой медицинской помощи в городе Томске по причине ряда заболеваний в период 01.10.98-30.09.99 гг.

Заболевание (сокращение)	Общее количество вызовов
Артериальная гипертензия (АГ)	16585
Ишемическая болезнь сердца (ИБС)	12391
Атеросклероз (А)	1442
Вегетососудистая дистония (ВСД)	3371
Бронхиальная астма (БА)	8775
Пневмония (П)	1803
Стенокардия (С)	3052
Нестабильная стенокардия (НС)	1025
Инфаркт миокарда (ИМ)	830
Острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК)	1099
Гипертонический криз (ГК)	10096
Нарушение ритма сердца (НРС)	3337

Предполагая, что основная роль долгопериодных вариаций солнечной активности и магнитной возмущенности связана с синхронизацией биологических ритмов [1] из исходных временных рядов нами были выделены околосесячная, околонеделная составляющие и остатки, полученные после удаления вышесперечисленных трендов. Изначально из временных рядов был удален годовой тренд. Все новые реализации анализировались отдельно. Для оценки корреляционных отношений использовались три показателя корреляции: коэффициент линейной r , нелинейной корреляции η^2 и критерий нелинейности взаимосвязи ξ . В качестве r был использован пирсоновский коэффициент корреляции [8]. Коэффициент нелинейной корреляции (корреляционное отношение) рассчитывался с помощью метода однофакторного дисперсионного анализа и определялся как отношение межгрупповой (факторной) дисперсии к общей дисперсии процесса (η^2). Этот показатель позволял исследовать любую форму корреляции, причем влияние неучтенных факторов можно было охарактеризовать, рассматривая остаточную дисперсию [8]. Критерий нелинейности рассчитывался как разность квадратов r и η , нормированную на степени свободы и отражал степень разброса реальных значений относительной регрессионной прямой [8]. В качестве порогового значения статистической значимости всех оценок корреляционной связи использовался 95% уровень вероятности безошибочных прогнозов. Расчеты проводились на базе стандартного пакета Statistica 5.0. Особо следует отметить, что поскольку число вызовов с рядом форм нозологии не имело четкой месячной периодики, при анализе рассматривались только те из заболеваний, где эта тенденция явно выражена, это не позволило сравнить результаты проведенного анализа для определенных заболеваний с выводами других авторов.

На первом этапе исследования оценивалась степень сопряженности околосесячных вариаций переменных. Проведенный анализ показал, что существует статистически значимая взаимосвязь биомедицинских показателей с динамикой определенных переменных гелиогеофизической среды (табл. 2 а, б) При этом отметим факт нелинейности взаимоотношений между рассматриваемыми переменными (таблица 2а, б). Только в двух случаях (взаимосвязь пневмонии со среднесуточным значением \overline{Ap} и ОНМК с вариациями амплитуды северной составляющей вектора магнитного поля) корреляцию можно считать линейной. Причем первое взаимоотношение очень слабое (крайнее значение корреляционного отношения выходит за границу статистической достоверности результата). Этот вывод показывает, что использование линейных оценок при исследовании нелинейных корреляционных взаимоотношений между переменными вполне могло привести к неоднозначности полученных результатов, по крайней мере, для используемого порядка вариаций и частоты дискретизации данных.

Почти все параметры гелиогеомагнитной обстановки влияют на изменение числа вызовов для рассмотренных групп заболеваний. При этом максимальный коэффициент нелинейной корреляции соответствует сопряженности числа вызовов по причине нарушения ритма сердца и вариациям среднесуточного значения числа субвспышек ($\eta^2=0.38 \pm 0.2$). Максимальное значение корреляционного отношения для эффектов регионального ЭМФ связано с изменением числа вызовов по причине нарушения ритма сердца (НРС), бронхиальной астмы (БА) и флуктуациями амплитуды восточной составляющей вектора магнитного поля ($\eta^2=0.35 \pm 0.2$), а также вертикальной составляющей и числа вызовов по причине гипертонического криза ($\eta^2=0.38 \pm 0.3$). Последний результат немаловажен, поскольку именно вертикальная компонента магнитного поля наиболее подвержена влиянию техногенных источников.

Таблица 2а. Значения коэффициентов нелинейной корреляции (η^2 , о.е.) для комплекса изучаемых переменных (околосесячная составляющая).

	\overline{Ap}	σ_{Ap}	R	F	Sub
АГ	0.25±0.03	0.19±0.02	0.15±0.02	0.07±0.02	0.15±0.02
ИБС	0.08±0.06	0.11±0.02	0.20±0.02	0.07±0.02	0.22±0.02
БА	0.20±0.05	0.13±0.02	0.17±0.02	0.06±0.02	0.14±0.02
П	0.08±0.06*	0.06±0.02	0.09±0.02	0.11±0.02	0.06±0.02
ОНМК	0.27±0.04	0.29±0.02	0.36±0.01	0.36±0.01	0.38±0.02
ГК	0.20±0.05	0.21±0.02	0.11±0.02	0.06±0.02	0.10±0.02
НРС	0.34±0.04	0.29±0.02	0.31±0.02	0.17±0.02	0.27±0.02

Таблица 26. Значения коэффициентов нелинейной корреляции (η^2 , о.е.) для комплекса изучаемых переменных (околосесячная составляющая).

	A_k	σ^2_X	σ^2_Y	σ^2_Z
АГ	0.11±0.02	0.26±0.02	0.28±0.02	0.32±0.03
ИБС	0.13±0.02	0.14±0.02	0.15±0.02	0.17±0.04
БА		0.22±0.02	0.35±0.02	0.30±0.03
ГК	0.12±0.02	0.17±0.02	0.22±0.02	0.35±0.03
НРС	0.06±0.02	0.23±0.02	0.35±0.02	0.17±0.03
П	0.06±0.02	0.13±0.02	0.20±0.02	0.23±0.03
ОНМК	0.18±0.01	0.28±0.02*	0.23±0.02	0.22±0.03

В таблице 2 знаком "*" обозначена линейная форма корреляции. Доверительный интервал для оценок выборочных коэффициентов определялся как $\eta^2 \pm \mu$ (95% генеральной совокупности), где η^2 - выборочный коэффициент, μ - ошибка данного коэффициента. В таблицах представлены только статистически значимые коэффициенты нелинейной корреляции ($p < 0.05$).

Отметим, что разброс значений η^2 уменьшается с увеличением "локальности" параметра гелиогеофизической обстановки. Так в группе показателей, характеризующих солнечную активность и глобальную магнитную возмущенность, он изменяется от 0.06 до 0.38 относительных единиц (о.е.), в то время как для параметров регионального ЭМФ от 0.13 до 0.35 о.е., и в среднем для второй группы преобладают более высокие оценки корреляции.

На втором этапе исследования проводилась оценка сопряженности биомедицинских показателей и околосесячных составляющих параметров физического окружения. Аналогичный анализ проводился также для остатков, полученных после удаления из рядов рассматриваемых переменных околосесячной и околосесячной составляющих.

В целом в рамках данных периодических соотношения между переменными характеризуются снижением η^2 . При этом сохраняется тенденция доминирования нелинейности в анализируемых зависимостях, уменьшается число гелиогеофизических факторов, влияющих на изменение биомедицинских параметров. Следует обратить внимание на то, что с уменьшением периода вариаций изучаемых переменных возрастает роль флуктуаций региональных магнитных полей в изменении числа вызовов. Так при изучении корреляции остатков большинство статистически достоверных взаимоотношений связано с восточной составляющей вектора МП (верхний график рисунка 1).

Значения коэффициентов корреляции для глобальных и локальных параметров гелиогеофизической среды соизмеримы по величине.

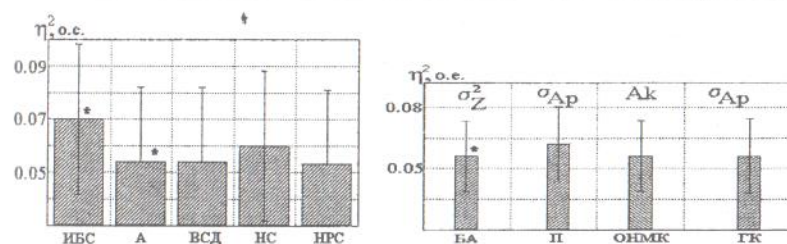


Рис. 1. Значения коэффициентов нелинейной корреляции между числом экстренных вызовов Скорой медицинской помощи и гелиогеомагнитной обстановкой в городе Томске (остатки). На верхнем графике представлены корреляционные отношения между биомедицинскими переменными и восточной составляющей вектора магнитного поля

Таким образом, в плане выполнения работы, связанной с оценкой сопряженности параметров локальной и глобальной гелиогеофизической обстановки и числа экстренных вызовов Скорой медицинской помощи в г. Томске, показано, что существует достоверная взаимосвязь биомедицинских показателей (для определенных форм нозологии) с динамикой комплекса исследуемых физических факторов.

Результаты, касающиеся влияния вариаций параметров солнечной и планетарной магнитной активности, согласуются с литературными данными. Показана сопряженность числа вызовов по причине инфаркта миокарда, нарушений сердечного ритма, гипертонических кризов с показателями магнитной возмущенности [2-5, 7].

Выявлена достоверная сопряженность вариаций биомедицинских параметров (для определенных форм заболеваний) и изменений регионального электромагнитного фона. Причем, во-первых, для ряда заболеваний взаимосвязь с вариациями параметров регионального ЭМФ выше, чем с показателями глобальной возмущенности. Во-вторых, с уменьшением периода вариаций гелиогеофизических факторов, роль региональных полей возрастает (таблица 2, рис. 1).

Эти факты подтверждают потенциальную возможность модификации биоэффектов глобальной геофизической среды на уровне региональных магнитных полей и, следовательно, диктуют необходимость проведения регионального мониторинга комплекса переменных, который учитывает локальный магнитный фон. Также именно эта составляющая гелиогеофизической среды может играть заметную роль в расхождении результатов, полученных разными авторами в городах, с различной степенью индустриализации [5].

Проведенный анализ продемонстрировал наличие нелинейности в большинстве выявленных взаимосвязей для всех рассмотренных диапазонов. Это заключение свидетельствует в пользу сложности корреляционных отношений в комплексе рассмотренных переменных и, тем самым, определяет необходи-

мость определения степени нелинейности взаимоотношений при проведении работ, посвященных решению аналогичных задач.

По мере уменьшения периода флуктуаций изучаемых переменных количество линейных взаимосвязей увеличивается при снижении степени взаимосвязи переменных между собой. Этот факт свидетельствует в пользу того, что, во-первых, влияние гелиогеофизической среды на используемый биомедицинский показатель действительно значимо, но не значительно [5]. Во-вторых, что по мере снижения периода вариаций гелиогеофизических факторов реализуются прямые эффекты тех или иных параметров на биомедицинские показатели. Этот результат также еще раз подтверждает, что на уровне долгопериодных флуктуаций взаимосвязи между агентами окружающей среды действительно комплексны.

Таким образом, региональный электромагнитный фон является значимым параметром гелиогеофизической среды наряду с солнечной активностью и глобальной возмущенностью магнитосферы. Этот агент физической среды способен определенным образом не только изменять биоэффекты глобальных гелиогеофизических факторов, но и при значительной антропогенной модификации сам выступать в качестве фактора, потенциально опасного для здоровья человека, в первую очередь для населения, проживающего в городах с высокой степенью индустриализации.

Работа поддержана грантом МО Е00-12.0-248

Литература

1. Владимирский Б.М., Сидякин В.Г., Темурьянц Н.А. Космос и биологические ритмы. Симферополь, 1995. -210 с
2. Гурфинкель Ю.И., Кулешова В.П., Ораевский В.Н. Оценка влияния геомагнитных бурь на частоту проявления острой сердечно-сосудистой патологии // Биофизика. 1998. Т.43. Вып.4. С.654-658.
3. Вилорези Дж., Бреус Т.К., Дорман Л.И. Влияние межпланетных и геомагнитных возмущений на возрастание числа клинически тяжелых медицинских патологий (инфарктов миокарда и инсультов) // Биофизика. Т.40. Вып.5. 1995. С.983-993.
4. Вилорези Дж., Птицина Н.Г., Тясто М.И., Юччи Н. Инфаркт миокарда и геомагнитные возмущения: анализ данных о заболеваемости и смертности // Биофизика. 1998. Т.43. С.623-631
5. Птицина Н.Г., Вилорези Дж., Дорман Л.И. и др. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья//Успехи физических наук. Т.168. N.7. С.767-791.
6. Солнечные вспышки. М.:Наука 1982. 221 с.
7. Тясто М.И., Птицина Н.Г. и др. Влияние электромагнитных полей естественного и антропогенного происхождения на частоту появления различных патологий в Санкт-Петербурге//Биофизика. 1995.Т.40. В.4. С.839-847.

8. Фестер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа М.:Финансы и статистика. 1983. 305 с.
9. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л.:Изд-во ЛГУ. 1978. 592 с.

ВЛИЯНИЕ СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ НИЗКОЧАСТОТНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РЕАКЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

Бородин А.С., Бардак А.Л., Калужин В.В.*, Иванова Т.В.**

*Сибирский физико-технический институт, *Сибирский государственный медицинский университет, **Отделение функциональной диагностики Областной клинической больницы. г. Томск*

В последние десятилетия в связи с бурным развитием человеческой цивилизации наблюдается значительное увеличение интенсивности ряда физических агентов окружающей среды. Данная ситуация перерастает в экологическую проблему, если учесть тот факт, что некоторые из этих параметров биологически значимы для человека и могут иметь непосредственное отношение к состоянию нашего здоровья.

Исследования последних десятилетий свидетельствуют в пользу того, что в роли такого фактора могут выступать низкочастотные электромагнитные поля (ЭМП) [3]. Во-первых, потому что напряженность электромагнитного фона в диапазоне низких частот действительно претерпевает значительную антропогенную модификацию, во-вторых, биологическая значимость данного физического агента доказана рядом экспериментальных работ и, в-третьих, данный параметр окружающей среды некоторыми исследователями рассматривается как потенциальный синхронизатор осцилляторных систем организма человека [3,6].

В соответствии с этим, целью настоящей работы является оценка сопряженности вариаций электромагнитного фона окружающей среды и состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) организма человека. Изучение реакций кардиоваскулярной системы определяется в первую очередь ее высокой чувствительностью к низкочастотным ЭМП, а так же ее ролью как интегрального маркера оценки состояния регуляторных систем организма в ответ на воздействие внешнего фактора. Данная постановка задачи не является оригинальной, и разрабатывалась в работах ряда исследователей [8, 11]. Однако при анализе экспериментального материала мы использовали ряд новых методических подходов, которые, по нашему мнению, позволяют более точно оценить сложившиеся отношения изучаемых переменных.

Изменения состояния регуляторных систем организма человека можно рассматривать как следствие его адаптации к условиям окружающей среды [7]. Со времени появления первой концепции адаптационного синдрома Г. Селье (Селье Г., 1966) приспособительный акт организма определяется как стадийный процесс. Следовательно, существует потенциальная возможность детерминации специфических реакций, связанных с существующим этапом адаптации. К сожалению однозначных подходов, позволяющих классифицировать подобные состояния с помощью неинвазивных методов диагностики, в настоящее время не существует. Тем не менее, множество приспособительных реакций организма можно разделить, по крайней мере, на два класса. Один из них будет связан с реакциями здорового организма, имеющего значительный запас адаптационных возможностей. Другой класс реакций отражает состояние хронического стресса. Следовательно, оценка реакций кардиоваскулярной системы на окружающие ЭМП у больных и здоровых людей, позволит более детально определить регуляторные механизмы ее ответа на внешнее воздействие.

Все комплексы электрокардиограммы можно условно разделить на патологические (экстрасистолы, учащение ритма и т.д.) и нормальные [5]. Первый тип кардиоинтервалов в основном присутствует на электрокардиограмме (ЭКГ) пациентов, имеющих определенные нарушения сердечного ритма, хотя единичные патологические комплексы могут присутствовать и на ЭКГ здоровых людей [5]. Поскольку эти два класса явлений отражают различные состояния работы сердца, при анализе экспериментальных данных целесообразно рассматривать эти совокупности кардиоинтервалов отдельно.

Ритм сердца человека имеет сложную ритмическую структуру, в которой доминирующую роль играет суточная периодика [12]. Эта регулярная динамика связана с изменением состояния регуляторных систем организма [5,12]. Следовательно, величина реакции ССС в различное время суток на внешние факторы могут быть связаны именно с этой особенностью регуляции сердечной деятельности. В свою очередь, вариации состояния регуляции - отражение адаптации организма к условиям внешней среды, агенты которой таким образом, способны выполнять определенную роль в физиологических процессах. Исходя из предложенных посылок, была проведена непрерывная регистрация суточной динамики электрокардиограммы. Полученные временные реализации оцифровывались с выделением RR-интервалов, удалением выбросов и аномальных комплексов ЭКГ (экстрасистолы, тахикардии и т.д.). Патологические и нормальные кардиокомплексы анализировались отдельно. Все из перечисленных операций проводились с помощью стандартного медицинского оборудования (холтеровская система [5]). Весь диапазон циркадианных вариаций параметров ЭКГ был разделен на ночной (с 00.00 по 07.00 часов местного времени) и дневной периоды (с 07.05 по 23.55 часов местного времени), которые анализировались отдельно. Полученные временные ряды усреднялись на пятиминутных интервалах. В качестве оценки, отражающей состояние сердечно-сосудистой системы, использовалось среднее значение RR-интервалов ЭКГ, как показателя, характеризующего средний уровень функционирования кардиоваскулярной системы

[5]. Поскольку все испытуемые находились в состоянии свободной физиологической активности, подобная фильтрация позволила избежать эффектов, связанных с резкими движениями и изменением положения тела (пятиминутные оценки применяются и другими авторами, так как они являются стандартными при суточном мониторинговании ЭКГ [5]).

В качестве параметров магнитного окружения рассматривались вариации амплитуд ортогональных компонент вектора магнитного поля в диапазоне частот от 0 до 5 Гц. Данные для переменных магнитного окружения были представлены сотрудниками отдела «Космической геофизики и экологии» Сибирского физико-технического института (г. Томск). Мониторинг электрокардиограммы проводился совместно с сотрудниками отделения «Функциональной диагностики» Областной клинической больницы (г. Томск). В исследования принимали участие 15 практически здоровых испытуемых в возрасте от 21 до 42 лет. Выборка больных волонтеров была представлена одиннадцатью мужчинами в возрасте от 36 до 60 лет, имевшими точно диагностированные нозологические изменения сердечно-сосудистой системы (инфаркт миокарда и артериальная гипертензия) В качестве оценки, определяющей меру взаимосвязи между изучаемыми переменными, использовалось корреляционное отношение (η^2), поскольку оно позволяет изучать корреляцию при любой ее форме (линейной либо нелинейной) [9]. Ниже, за исключением специально оговоренных случаев, речь пойдет о взаимосвязи нормальной вариабельности сердечного ритма с вариациями магнитных полей.

Результаты анализа экспериментальных данных позволяют утверждать о наличии достоверной взаимосвязи среднего уровня функционирования сердечно-сосудистой системы и ряда параметров магнитного окружения в норме и патологии (рис. 1).

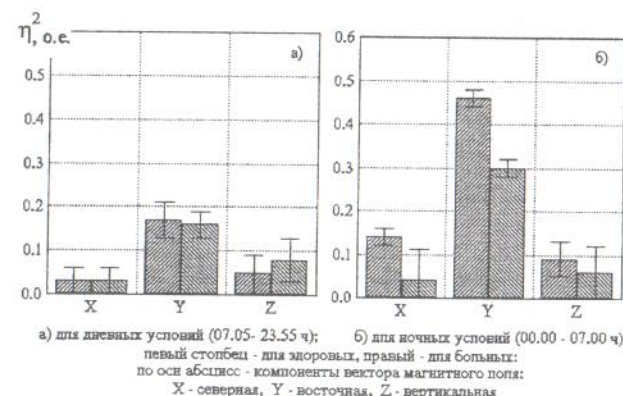


Рис. 1. Корреляционные отношения между средним значением RR-интервалов и амплитудами вариаций компонент вектора магнитного поля.

Доверительные границы корреляционного отношения определялись в виде $\eta^2 \pm \mu$, где μ - ошибка квадрата корреляционного отношения [9]. Критическое значение η^2 , при превышении которого влияние фактора уже нельзя считать случайным в приведенных статистических оценках (здесь и на последующих графиках) составляло 0.07 и рассчиталось для первого порога вероятности безошибочных прогнозов ($p < 0.05$). Следует отметить, что наиболее значимым параметром регионального магнитного окружения являются вариации восточной (Y-компоненты) составляющей вектора магнитного поля. Предположение о ведущей роли этой компоненты среди остальных компонент земного магнетизма было высказано А.П. Дубровым [6], и подтверждено экспериментальными исследованиями в работе [2]. Также в последней работе приведены данные, свидетельствующие о том, что вариации Y-компоненты в течение суток отличаются большей по сравнению с остальными параметрами магнитного поля стабильностью. Так в течение суток восточная составляющая изменяется в пределах $\pm 3\sigma$, в то время как вертикальная претерпевает флуктуации от -5σ до $+5\sigma$. Видимо, для осцилляторных систем организма человека такой показатель как стабильность ритмозадающего фактора окружающей среды имеет определенное значение. В обеих группах испытуемых существуют четкие отличия в реакциях кардиоваскулярной системы на воздействие внешнего фактора в различное время суток. Сопряженность исследуемых переменных выше ночью. Отчетливые различия в реакциях ССС больного и здорового организма наблюдаются ночью, в то время днем они практически одинаковы (рис.1).

Отличительной чертой регуляции сердечной деятельности у людей, страдающих заболеваниями сердечно-сосудистой системы, является увеличение тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы по сравнению со здоровыми людьми [5,12]. Известно, так же, что в ночное время у обеих групп происходит увеличение доли парасимпатических влияний в регуляции физиологических функций организма человека [5,12]. Эти особенности видны на рисунке 2. Ночью размах значений RR-интервалов ЭКГ выше по сравнению с дневными условиями, как у больных, так и у здоровых испытуемых (рис.2). Это показатель, характеризующий величину парасимпатических влияний на ритм сердца, ниже у больных, что свидетельствует об увеличении в регуляции сердечной деятельности больных симпатических влияний по сравнению со здоровыми волонтерами.

Учитывая специфику регуляции деятельности сердца, в которой ведущую роль играет деятельность центральной нервной системы (ЦНС) можно предположить, что основным звеном передачи эффектов ЦНС, связанных с реакцией организма на магнитное окружение, в данном случае является парасимпатический отдел вегетативной нервной системы. Однако у больных волонтеров по сравнению со здоровыми испытуемыми менее выражен, а зачастую и отсутствует суточный ход вариаций частоты сердечных сокращений [12]. Может ли этот фактор вызывать различие в дневных и ночных реакциях сердечно-сосудистой системы? Для ответа на этот вопрос из исходных временных рядов переменных нами была удалена суточная периодика, и анализ взаимосвязи был проведен

вновь. Полученный результат свидетельствует об отсутствии отличий в величине корреляции у больных испытуемых в ночное время, связанное с уменьшением сопряженности биомедицинского параметра с восточной компонентой магнитного поля. Корреляция с этим параметром магнитного окружения снижается и в течение дня. Для здоровых испытуемых величина взаимосвязи с восточной составляющей доминирует и снижается, по сравнению с больными, незначительно.

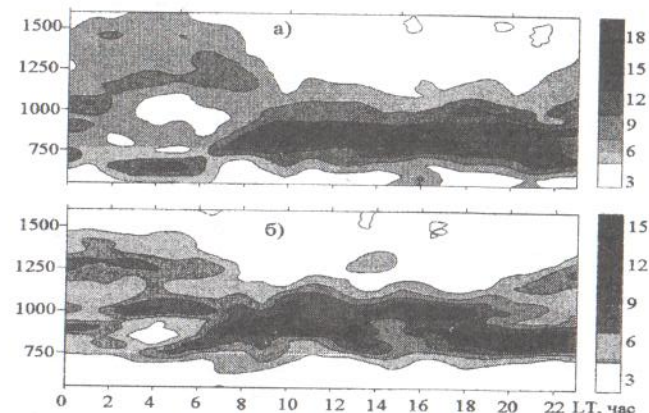


Рис.2. Среднесуточная динамика распределений RR-интервалов для здоровых (верхний график) и больных испытуемых. По оси абсцисс - время местное в часах; по оси ординат - значения середин классов гистограммы RR-интервалов (миллисекунды); ось Z - вероятность в процентах.

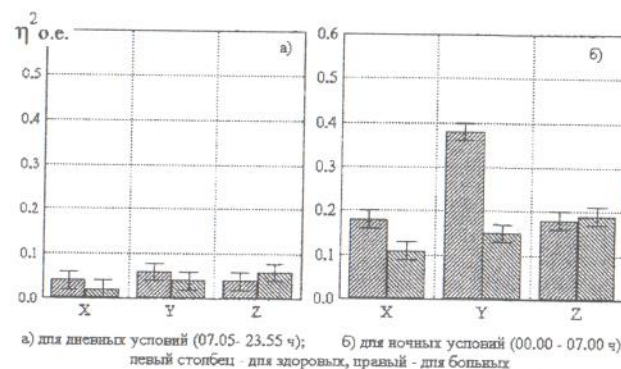


Рис.3. Корреляционные отношения между средним значением RR-интервалов и амплитудами вариаций компонент вектора магнитного поля (без суточного тренда)

Значения η^2 , полученные для рядов не имеющих суточного тренда ниже коэффициентов, рассчитанных для суточной динамики переменных. Однако различие в дневных и ночных реакциях сердечно-сосудистой системы сохраняется (рис.3). Таким образом, предположение о доминировании парасимпатической регуляции в ответах ССС на магнитное окружение правомерно.

По данным литературы известно, что у человека находящегося в состоянии покоя, в течение суток в регуляции сердечного ритма доминирует парасимпатическая регуляция [12]. При этом ритм сердца так же имеет явно выраженный циркадианный ход [2]. Следовательно, исследования сопряженности суточного ритма сердечно-сосудистой системы и вариации внешних магнитных полей у испытуемых, находящихся в состоянии физиологического покоя, должны приводить к более сглаженной величине различий между ночными и дневными показателями корреляции. Мы использовали выборку волонтеров, состоящую из пятнадцати здоровых испытуемых в возрасте от 21 до 50 лет, у которых проводилась регистрация электрокардиограммы в течение суток в положении сидя либо лежа. Параметры магнитных полей измерялись синхронно с записью ЭКГ в диапазоне от 0 до 5 Гц. Эксперименты проводились с марта по апрель 1997 года. Статистический анализ был проведен по алгоритмам, которые были описаны ранее.

Расчеты показали, что параметры корреляции, характеризующие величину ночной и дневной сопряженности уровня функционирования ССС и магнитного окружения, действительно, не значительно отличаются друг от друга (рис.4), по сравнению с полученными ранее оценками, которые отражали те же взаимосвязи, но для испытуемых в состоянии свободной физиологической активности (рис.1).

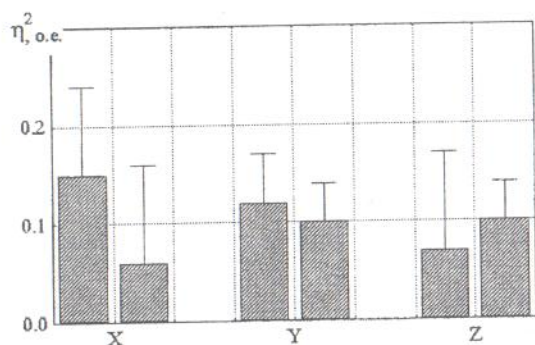


Рис. 4. Дневные (левый столбик) и ночные значения корреляционного отношения между параметрами магнитного окружения и средним уровнем функционирования сердечно-сосудистой системы у здоровых испытуемых, находящихся в состоянии физиологического покоя

Показатели корреляции характеризуются большим размахом значений по сравнению с коэффициентами, полученными ранее (рис.1, 4). Это связано с тем, что запись ЭКГ для данной выборки волонтеров была не непрерывной, а измерялась с меньшей дискретизацией (≈ 72 точки в сутки), следовательно, для анализа использовался меньший объем данных. Существуют и другие особенности, которые могут быть связаны с тем, что в различных экспериментальных ситуациях были реализованы различные состояния окружающего магнитного фона и систем организма человека, которые нашли свое отражение в полученных результатах. Тем не менее, очевидно, что отличие в дневных и ночных реакциях организма человека на вариации магнитного окружения менее выражено, когда человек находится в состоянии физиологического покоя и, таким образом, по возможности связано с активностью парасимпатического звена регуляции физиологических функций.

Особо следует отметить, что особенности проводимых нами экспериментальных работ (условия спокойной гелиогеофизической обстановки (A_p на протяжении всех экспериментов в среднем был равен 8.8), пятиминутная дискретизация) позволили нам оценить в первую очередь взаимосвязь реакций сердечно-сосудистой системы с регулярными изменениями низкочастотных магнитных полей. В то же время в ряде исследований отмечены изменения физиологических показателей, связанные с возрастанием активности симпатического звена регуляции сердечной деятельности в магнитовозмущенных условиях [1,4,10]. Ничуть не умаляя этих выводов, следует добавить, что, по-видимому, регулярные компоненты внешних факторов "используются" ЦНС для поддержания гомеостаза физиологических функций, как стабильно повторяющихся изменений. В то время иррегулярные компоненты внешнего магнитного окружения вызывают реакцию неспецифического стресса, которая отражается в увеличении активности симпатoadрeналовой системы.

Прежде чем привести результаты исследования, посвященные анализу взаимосвязи вариаций магнитных полей и вероятности появления патологических кардиокомплексов, следует отметить, что у здоровых испытуемых таких нарушений ритма сердца не было обнаружено. По этой причине последующие выводы связаны только с функционированием сердечно-сосудистой системы больных людей, страдающих определенными формами нозологии сердечно-сосудистой системы.

Проведенный анализ показал, что события экстрасистолии, как показателя нарушения ритма сердца, определяются, главным образом, средним уровнем функционирования сердечно-сосудистой системы (рис.5). Коэффициенты корреляции, отражающие взаимосвязь между переменными магнитного окружения и данным биомедицинским показателем, свидетельствуют в пользу того, вероятность появления экстрасистолических нарушений ритма сердца не зависит от вариаций амплитуд компонент вектора магнитного поля.

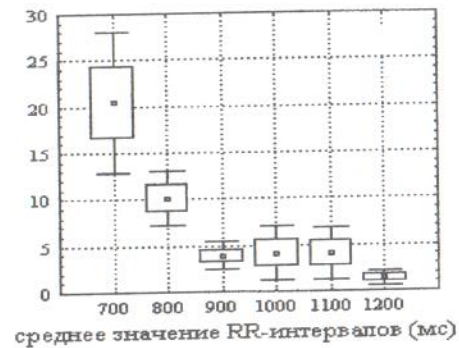


Рис.5. Зависимость числа нарушений ритма сердца (экстрасистолии) от среднего уровня функционирования сердечно-сосудистой системы. По оси ординат количество экстрасистолических кардиокомплексов.

Тем не менее, согласно полученному результату, увеличение частоты сердечных сокращений, как следствие активации симпатoadрeналовой компоненты регуляции физиологических функций, которое происходит во время геомагнитных бурь [4,10], способно увеличивать вероятность возникновения нарушений ритма сердца во время мощных магнитных возмущений (рис.5).

Работа поддержана грантом РФФИ № 01-04-49705А

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вилорези Дж., Бреус Т.К., Дорман Л.И. Влияние межпланетных и геомагнитных возмущений на возрастание числа клинически тяжелых медицинских патологий (инфарктов миокарда и инсультов) // Биофизика. Т.40. Вып.5. 1995. С.983-993.
2. Бородин А.С. Сопряженность вариаций КНЧ электромагнитных полей среды обитания и состояния организма человека. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Томск: НБ ТГУ. 1999.
3. Владимирский Б.М., Сидякин В.Г., Темурьянц Н.А. Космос и биологические ритмы. Симферополь, 1995. -210 с
4. Гурфинкель Ю.И., Кулешова В.П., Ораевский В.Н. Оценка влияния геомагнитных бурь на частоту проявления острой сердечно-сосудистой патологии // Биофизика. 1998. Т.43. Вып.4. С.654-658.
5. Дабровски А., Дабровски Б., Пиотрович Р. Суточное мониторирование ЭКГ. М.:Медпрактика. 1998. 210 с.

6. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь Л.:Гидрометеоздат, 1976. 175с.
7. Лопухова В.В. Физиологические основы адаптации. Томск:Изд-во Томск. ун-та, 1982. 90 с.
8. Макаров Л.М. Влияние геомагнитного поля на циркадную вариабельность ритма сердца// Клиническая медицина. N2. 1997. С.22-26.
9. Плохинский Н.А. Биометрия. М.:Изд-во МГУ, 1970. 370 с.
10. Раппорт С.И., Большакова Т.Д., Малиновская Н.К., Ораевский В.Н., Мещерякова С.А., Бреус Т.К., Сосновский А.М. Магнитные бури как стрессовый фактор // Биофизика. 1998. Т.43. -Вып.4. -С. 632-639.
11. Тывин Л.И., Зарубин Ф.Е., Горшков Э.С. Влияние геофизических факторов на показатели структуры синусового ритма у детей// Биофизика. Т.40. Вып.4. С.800-803.
12. Burger A.J., Charlamb M., Sherman H.B. Circadian patterns of heart rate variability in normals, chronic stable angina and diabets mellitus// Int. Jour. of Cardiology. 71. 1999. P.41-48.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ЗНАЧИМОСТЬ СВЕРХСЛАБОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭМБРИОНОВ НИЗШИХ ПОЗВОНОЧНЫХ

Бурлаков А.Б., Белоусов Л.В., Голиченков В.А.

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова
биологический факультет

В последние годы все больше появляется свидетельств дистантных волновых взаимодействий между организмами разного уровня организации, открытых в середине 20-х годов А.Г.Гурвичем (Казначеев, Михайлова,1981; Кузин,1997; Бурлаков, 1998; Бурлаков и др., 1999,2000а,б,в; Бурлакова и др., 2000 и др.). Интерес к исследованиям этих процессов и их возможной роли в биологических самоорганизующихся системах в настоящее время вступает в новую фазу, поскольку появилась возможность объективной приборной их регистрации. В частности, нам удалось в Международном институте биофизики (г. Нойс, Германия) зарегистрировать с помощью ФЭУ в диапазоне 200-800 нм интенсивность биофотонной эмиссии от икры и эмбрионов вьюна, *Misgurnus fossilis* разных стадий развития и разного физиологического состояния. Несмотря на то, что регистрируемые параметры ограничены возможностями прибора, регистрирующего количество фотонов в единицу времени в определенном спектральном диапазоне, определенную информационную значимость таких спектров для эмбрионов вьюна нам удалось показать (Burlakov, 2000).

Известно, что информация, передаваемая с помощью волновых процессов, может быть закодирована по четырем параметрам: амплитуде, частоте, поляризации волны и по сдвигу фаз. Зарегистрированные нами параметры биофотонной эмиссии по существу отражали временную динамику ее амплитудных характеристик

Для исследования наличия определенной информационной значимости отдельных паттернов зарегистрированной биофотонной эмиссии одним из перспективных направлений является компьютерная модуляция этими паттернами интенсивности источников когерентного излучения, воздействующих на биологический детектор (использующуюся нами модель эмбрионального развития низших позвоночных).

При использовании электромагнитного излучения в качестве информационно-волнового фактора прежде всего необходимо определить такие вопросы, как: выбор длины волны используемого источника электромагнитного излучения; определение параметров амплитудной и частотной модуляции, соответствующих заданным целям воздействия; а также выяснение для этих целей энергетической облученности и энергетической экспозиции воздействия.

Основываясь на этих положениях можно сформулировать определенный принцип информационно-волнового воздействия, при котором достижение необходимого результата при воздействии внешним информационно-волновым фактором зависит от синхронизации ритмов действующего фактора и соответствующей функциональной системы, или же от стойкого эффекта навязывания определенного ритма колебательного процесса действующим фактором той или иной функциональной системе организма при оптимальных энергетических параметрах этого фактора. Применительно к выбранному фактору (электромагнитному излучению) в первую очередь необходимо определить соответствующую длину волны излучения, которая отвечала бы требованиям информационно-волнового воздействия. Каждой длине волны соответствует собственная частота колебаний ν (в Гц), определяемая по формуле $\nu = (3 \times 10^{14}) : \lambda(\text{мкм})$. Следовательно, первой частотной характеристикой является собственная частота того или иного спектра (длина волны) электромагнитного излучения. Ограничения в выборе, с одной стороны, уже определенным образом предопределены "самокранированностью" биологических тканей от электромагнитного излучения низких частот (до 10^3 Гц) и эволюционной адаптированностью биологических объектов разного уровня организации к излучению с длиной волны 290-1500 нм и 1 см- 50 м (Суббота, 1996). С другой стороны, ограничения предопределены и энергией квантов электромагнитного излучения: так, на верхней границе электронного спектра (между средневолновой и коротковолновой частями ультрафиолетовой области) энергия квантов равна 400 кДж/моль, а это превышает величину, необходимую для разрыва сильных связей, определяющих цепное строение биополимеров (Аноним, 1984; Мязишев, 1988). Исходя из этого, длина волны электромагнитного излучения для информационного воздействия на биологический объект должна находиться в оптическом и радиоволновом (до 50 м) диапазоне, а собственная частота этой волны будет являться не-

сущей. Действительно, как показали проведенные нами ранее эксперименты, дистантные волновые взаимодействия эмбрионов низших позвоночных осуществляются как в различных областях видимой части спектра, так и в ИК диапазоне (Burlakov, 2000; Бурлакова и др., 2000). Причем, характер взаимодействия одних и тех же групп эмбрионов разного возраста в различных областях спектра неодинаков, что подтверждает возможность прохождения разной информации в отдельных спектральных диапазонах.

При информационно-волновом воздействии несущая частота представляет интерес с трех основных точек зрения. Первая – максимально возможная глубина проникновения соответствующей длины волны в ткани биологического объекта; вторая – широта диапазона комбинационного выбора частот солитонной волны при переизлучении биологическими тканями за счет механизма возврата Ферми-Паста-Улама; третья – для каких структур биологического объекта несущая частота является резонансной (Чугуевский, Федоренко, 1980; Давыдов, 1986; Копвиллем, 1989; Илларионов, 1996; Фофанов, 1996).

В подавляющем большинстве случаев необходимый объем информации в биологический объект вносится при помощи электромагнитного излучения за счет модуляции последнего. Модуляция – изменения по определенному закону амплитуды, частоты или фазы гармонического колебания для внесения в колебательный процесс требуемой информации. Модуляция колебаний – медленное, по сравнению с периодом колебаний, изменение амплитуды, частоты или фазы колебаний по определенному закону. Передача информации при помощи электромагнитных волн за счет их модуляции возможна только в радио- или оптическом диапазоне этих волн (Блехман, 1981; Аноним, 1984; Малов, Костюк, 1995; Фофанов, 1996). Таким образом, частота модуляции является информационной частотой, несущей на себе основной объем соответствующей информации.

Поскольку в процессе эмбрионального развития характер амплитудного паттерна биофотонной эмиссии меняется, информационную значимость таких изменений мы попытались выявить, используя в качестве носителя информации излучение ИК-лазера, интенсивность излучения которого модулировалась компьютерными записями спектров биофотонной эмиссии, зарегистрированных ФЭУ от зародышей выюна при их развитии. Излучение ИК-лазера как известно способно проникать в эмбрионы выюна и оказывать при определенных условиях корректирующее действие на эмбриональное развитие (Бурлаков и др., 1997). Для компьютерной модуляции интенсивности излучения ИК-лазера использовали следующие паттерны спектров биофотонной эмиссии, зарегистрированные ФЭУ от зародышей выюна на разных стадиях их развития: неоплодотворенная икра, 60 минут после оплодотворения, 70 минут после оплодотворения, 80 минут после оплодотворения, появление 2-х бластомеров и 20 минут после образования 4-х бластомеров (Рис.1). Параметры лазерного излучения подбирали эмпирически таким образом, чтобы немодулированное излучение не оказывало действия на развивающихся зародышей. Воздействуя модулированным излучением на зародышей выюна разных стадий развития, мы регистрировали биоло-

гический эффект такого облучения. Этот подход позволяет анализировать реакцию живого объекта на излучение, меняющееся только по амплитуде, и исключать информационные параметры биооптического излучения, связанные с его частотой, поляризацией и фазой. Длительность облучения — 10 минут — соответствовала истинному времени записи биофотонной эмиссии.

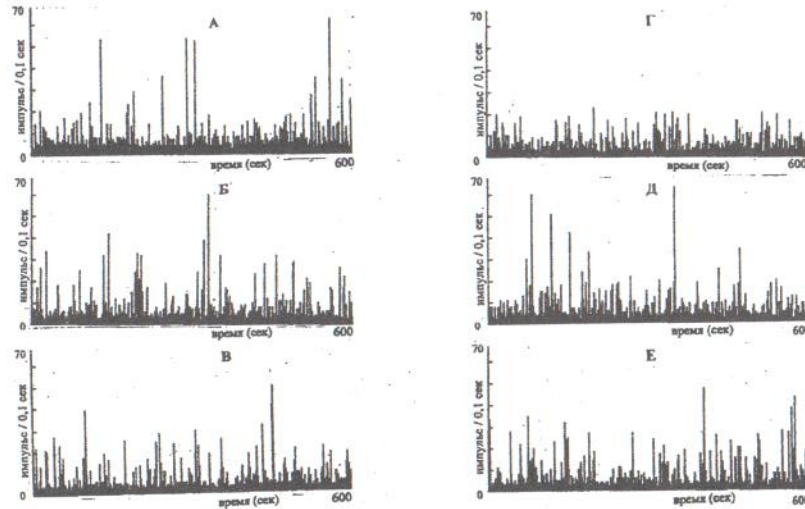


Рис. 1. Фрагменты биофотонной эмиссии, зарегистрированной от икры и ранних эмбрионов выюна разных стадий развития. А — неоплодотворенная икра, Б — 60 мин. после оплодотворения, В — 70 мин. после оплодотворения, Г — 80 мин. после оплодотворения, Д — образование 2-х бластомеров, Е — 20 мин. после образования 4-х бластомеров

Для выяснения вопроса о стабильности во времени чувствительности воспринимающей системы развивающихся зародышей к поступающей к ним информационно-значимым сигналам облучению одними и тем же файлами биофотонной эмиссии подвергали партии икры трех стадий развития: неоплодотворенная икра, икра через 15 минут после осеменения и стадия 2-4-х бластомеров. Контролем служили соответствующие группы зародышей, не подвергавшиеся облучению. В качестве дополнительного контроля брали соответствующие группы зародышей, облученных светом немодулированного лазера. В каждой экспериментальной группе находилось по 45-50 икринок. Регистрацию биологического эффекта облучения в каждой группе проводили через 24, 48 и 65-70 часов после облучения. Все эксперименты проведены в 10-15 кратной повторяемости.

Проведенное исследование показало, что после облучения икры через 15 минут после осеменения светом лазера, интенсивность которого модулировалась разными файлами, выявилось, что поражающим действием обладали файлы, зарегистрированные от зародышей на стадиях дробления (после образования 2 и 4-х бластомеров) — процент нормальных эмбрионов значительно снижался, что сохранялось до конца наблюдений. Тогда как биофотонная эмиссия икры неоплодотворенной и оплодотворенной, но еще не дробящейся, не оказывала отрицательного воздействия (рис.2).

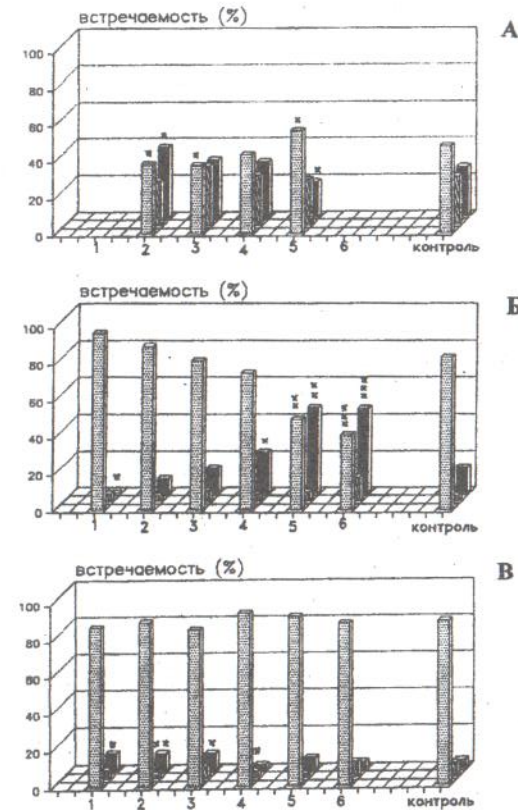


Рис. 2. Влияние ИК-лазерного излучения, модулированного паттернами биофотонной эмиссии выюна на стадиях неоплодотворенной икры (1); 60 (2), 70 (3), 80 (4) минут после оплодотворения, 2-х (5) и 4-х (6) бластомеров на эмбриональное развитие после облучения. А — неоплодотворенная икра, Б — через 15 мин. после оплодотворения, В — на стадии 2-4-х бластомеров. Столбцы с точками — нормальные личинки, заштрихованные столбцы — аномальные личинки, черные столбцы — гибель личинок. Достоверность различий экспериментальных и контрольных групп:

* — $p \leq 0,05$, ** — $p \leq 0,01$,
*** — $p \leq 0,001$

С другой стороны, чувствительность зародышей к облучению одними и теми же файлами различалась в процессе их развития. Так, облучение светом лазера, интенсивность которого модулировалась файлом эмиссии, зарегистриро-

ванной от икры через 60 минут после оплодотворения, оказывало достоверное отрицательное действие на неоплодотворенную икру, но не вызывало достоверного ухудшения состояния зародышей при действии на икру через 15 минут после осеменения и на 2-х – 4-х клеточных зародышей.

Интересно отметить, что облучение икры через 15 минут после осеменения файлом эмиссии зародышей, находившихся на стадии 20 минут после образования 4-х бластомеров, вызывало большой процент уродств. Другие файлы не стимулировали таких резких отклонений от нормального развития. Зародыши на стадии 2-4-х бластомеров оказались мало чувствительными к облучению всеми файлами, по наблюдениям в первые двое суток развития. Однако, к моменту выклева в группах, облученных файлами 60 минут после оплодотворения и 2 бластомера, отмечали достоверное снижение числа аномальных личинок (проявление положительной коррекции развития).

Проведенные эксперименты выявили, что модуляция лазерного излучения файлами биофотонной эмиссии зародышей разных стадий развития вызывала разный биологический эффект при использовании в качестве детектора зародышей одной и той же стадии развития. Это подтверждает, что биофотонная эмиссия эмбрионов вьюна на разных стадиях эмбрионального развития, различаясь по характеру регистрируемых частотно-амплитудных параметров, оказывает разное

физиологическое действие на биологический детектор излучений - зародышей вьюна, т.е. различается информационно значимыми компонентами.

С другой стороны, лазерное излучение, модулированное одними и теми же файлами, оказывало на зародышей разных стадий развития также неодинаковое действие. Данные факты являются несомненным подтверждением того, что и сама воспринимающая биологическое излучение система зародышей изменяется (или в значительной степени меняет чувствительность) на разных стадиях развития.

Таким образом, наши результаты подтверждают, что развивающейся биологической системе свойственна определенная стадиоспецифичность реакции на поступающую внешнюю информацию. При дистантном взаимодействии зародышей разных стадий специфичность проявления биологической реакции связана как с функциональным состоянием воспринимающей системы, так и с информацией, заложенной в амплитудной характеристике биоизлучения донора.

Работа поддержана грантом РФФИ № 00-04-49578

ЛИТЕРАТУРА

1. Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. Энциклопедия, 1984.
2. Блехман И.И. 1981. Синхронизация в природе и технике. М.: Наука.
3. Бурлаков А.Б., Аверьянова О.В., Пашенко В.З., Тусов В.Б., Голиченков В.А. 1997. Лазерная коррекция эмбрионального развития вьюна. // Вестн. МГУ. Сер. Биол., № 1, С. 19-24.

4. Бурлаков А.Б. 1998. Внутривидовая волновая коррекция раннего эмбрионального развития // Пространственно-временная организация онтогенеза // Под ред. Ю.А. Романова, В.А. Голиченкова. М.: Из-во МГУ. С.183-193.
5. Бурлаков А.Б., Бурлакова О.В., Голиченков В.А. 1999. Дистантные взаимодействия разновозрастных эмбрионов вьюна // ДАН. Т.368. №4. С562-564.
6. Бурлаков А.Б. Бурлакова О.В., Голиченков В.А. 2000а. Дистантные волновые взаимодействия в раннем эмбриогенезе вьюна *Misgurnus fossilis* L. // Онтогенез. т. 31. №5. с.340-347.
7. Бурлаков А.Б. Бурлакова О.В., Голиченков В.А. 2000б. Волновые дистантные взаимодействия развивающихся биосистем как основа биофотонной инженерии // Электромагнитные излучения в биологии (БИО-ЭМИ-2000). Труды международной конференции. (Калуга, Россия, 3-5 октября 2000 года). С.42-46.
8. Бурлаков А.Б., Бурлакова О.В., Королев Ю.Н., Голиченков В.А. 2000в. Самоорганизация развивающихся организмов и поляризация волновой биокоммуникации // Синергетика. Т.3. МГУ. М. С.296-307.
9. Бурлакова О.В., Бурлаков А.Б., Королев Ю.Н., Голиченков В.А. 2000. Волновая биокоммуникация и самоорганизация развивающихся биосистем // Синергетика. Т.3. МГУ. М. С 307-313.
10. Давыдов А.С. 1986. Солитоны в биоэнергетике // Киев: Наук. Думка. 185 с.
11. Илларионов В.Е. 1998. Медицинские информационно-волновые технологии. М.: ВЦМК "ЗАЩИТА" (Библиотека Всероссийской службы медицины катастроф) 52с.
12. Казначеев В.П., Михайлова Л.П. Сверхслабые излучения в межклеточных взаимодействиях. Новосибирск.: Наука. 1981, 144с
13. Копвиллем У.Х. 1989. Некоторые вопросы медицинской физики // Действие электромагнитного излучения на биологические объекты и лазерная медицина. Владивосток: ДВО АН СССР. С.212-226.
14. Кузин А.М. Вторичные биогенные излучения - лучи жизни. Пушкино.: ОНТИ ПНЦ РАН. 1997. 45 С.
15. Малов А.Н., Костюк М.Г. 1995. Модельный анализ основных биологических процессов в низкоинтенсивной лазерной терапии // Лазер маркетинг. № 1. С. 37-39.
16. Мязишев Г.Я. 1988. Взаимодействие // Физическая энциклопедия М.: Сов. Энциклопедия. Т1. С.263-264.
17. Суббота А.Г. 1996. "Золотое сечение" в медицине 2-ое изд. СПб: Стройлеспечать. 112с.
18. Фофанов С.И. 1996. Преобразование энергии и энергетическая самоорганизация клетки // Старение и долголетие №1. С.29-30.
19. Чугуевский Ю.В., Федоренко Н.Е. 1980. Электромагнитные солитоны // М., Деп в ВИНТИ. №8280 80с.
20. Burlakov A.B. 2000. Distant physical interactions between the developing fish embryos // Biophotonics and Coherent Systems. Proceedings of the 2nd Alexandr Gurwitsch Conference and Additional Contributions (Editors: Lev Belousov, Fritz-Albert Popp, Vladimir Voecikov, and Roeland van Wijk). Moscow University Press, Moscow. P.289-304.

ВЛИЯНИЕ ГЕЛИОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС РЫБ (НА ПРИМЕРЕ КАРПА)

Лебедева Н.Е., Головкина Т.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова, биологический факультет

Ранее у карпа (*Cyprinus carpio*) показано, что голодание, изоляция и действие некоторых других экологических факторов вызывают сдвиги физиологического статуса. В хроническом эксперименте у этих рыб выявлен ритмический характер биохимических изменений (Лебедева и др., 2000). Обнаружена достоверная корреляция сдвигов биохимических параметров с изменением гелиофизических факторов интенсивностью солнечной активности и уровнем общего потока радиоизлучений (Лебедева, Головкина, 1998). Полученные результаты позволили предположить влияние космических факторов на физиологическое состояние рыб, обусловленное воздействием не только экологических, но и антропогенных факторов. Известно, что изменение метаболизма в организме отражается в сдвигах биохимических показателей во всех биологических жидкостях, а у рыб и в наружной слизи. Изменение состава слизи (в частности, появление гемоглобина) может служить одним из критериев физиологического состояния (Лебедева, Головкина, 1987). Задачей настоящего исследования было выявление особенностей влияния интенсивности гелиофизических факторов на характер биохимических изменений у карпов, подвергнутых токсическому воздействию.

Материал и методика

Объектом исследования служили 60 годовиков карпа средней массой 20 г. Рыб содержали группами по 10 особей в непроточных аквариумах, объемом 20 л, снабженных поролоновыми фильтрами и принудительной аэрацией. В качестве токсикантов использовали фенол (в конечной концентрации 5 мг/л и 10 мг/л) и соли тяжелых металлов азотнокислый свинец, сульфат меди и сульфат цинка из расчета конечной концентрации 1 мкМ. Длительность экспозиции рыб в растворах токсикантов составляла 24 часа. Биохимические показатели слизи в процессе экспозиции в этих растворах определяли через 1, 3, 6, и 24 часа.

Эксперимент по изучению отдаленного воздействия токсикантов продолжался в течении последующих 20 суток. С этой целью рыб (после воздействия токсикантов) помещали в чистую воду, которую меняли ежедневно, а перед этой процедурой (один раз в 24 часа) проводили отбор слизи для определения биохимического состава. Контрольные рыбы подвергались аналогичным процедурам (вместо токсикантов использовали чистую воду). Биохимический состав слизи рыб оценивали аналитическим экспресс-методом, использующий реагенты, иммобилизованные на твердом носителе в мультислойной цветной пленке фирмы "Ames" (Лебедева, Головкина, 1988).

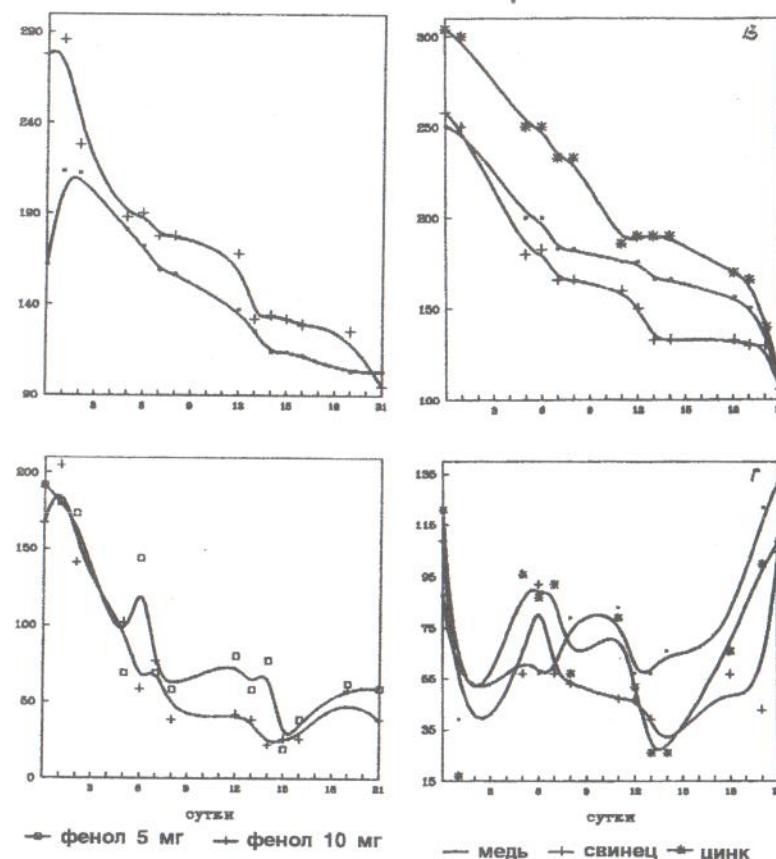


Рис. 1. Содержание гемоглобина (А, В) и общего белка (Б, Г) в ранние сроки после воздействия фенола и тяжелых металлов

Метод отличается хорошими метрологическими характеристиками. Содержание компонентов оценивали в следующих единицах: общий белок (г/л), кетоны (ммоль/л), гемоглобин (мкг/л). Каждый из представленных результатов - среднее из 10 определений. Всего было проведено около 1000 анализов (5000 определений). Полученные биохимические результаты сопоставляли с интенсивностью гелиофизических факторов уровнем изменения солнечной активности, который измерялся индексом магнитной возмущенности (A_k) и интенсивностью солнечных пятен, оцененных в числах Вольфа (W), а также интенсивно-

стью общего потока радиоизлучений (F), лобезно предоставленных нам Российским Научным Центром Реабилитации и Физиотерапии. Статистическую обработку материала проводили непараметрическими методами, используя критерий U (Манн Уитни), а так же рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена.

Результаты

Показано, что суточное воздействие на рыб токсикантов (растворов солей тяжелых металлов и фенола) приводят к изменениям биохимического статуса у карпа (рис 1). Изменения эти обратимы, однако последствие токсикантов (время, в течении которого наблюдаются отклонения от нормы) в 20 и более раз превышает время его воздействия.

Установлены изменения концентрации гемоглобина (рис.1 а,в), общего белка (рис.1 б,г) в слизи. Выявлены изменения удельной массы и pH под действием токсикантов. Однако малая размерность величин плотности слизи и pH, а так же их сдвигов не позволили с достоверностью рассчитать динамику этих параметров и обсуждать результаты в статье. Обнаружено значительное снижение (до порога определения) концентрации кетонов в слизи под влиянием тяжелых металлов. Корреляцию с гелиофизическими факторами этого параметра также не рассчитывали.

Следует отметить, что биохимические параметры у всех (как опытных так и контрольных) карпов ритмически изменялись в хроническом эксперименте. Обнаружено, что колебания значений биохимических параметров у всех рыб достоверно коррелируют с интенсивностью гелиофизических факторов (W, Ak и F) (табл.1).

Вместе с тем найдены отличия в выявленных зависимостях, которые заключаются в следующем. Концентрация гемоглобина в слизи рыб содержащихся в растворах солей тяжелых металлов достоверно коррелирует с величиной гелиофизических факторов, В то же время у рыб, содержащихся в растворе фенола, выявлена корреляция концентрации общего белка с гелиофизическими факторами. Обнаружены и другие отличия, которые заключаются в корреляции биохимических параметров с величиной гелиофизических факторов, измеряемых в различные дни, по отношению ко времени отбора слизи. Так изменение концентрации гемоглобина под воздействием солей тяжелых металлов достоверно зависит от интенсивности солнечных пятен и индекса магнитной возмущенности измеряемыми за один день, предшествующему отбору проб. Содержание гемоглобина коррелирует также с интенсивностью общего потока радиоизлучений и интенсивностью магнитных возмущений, измеряемыми в день эксперимента. Измененное под влиянием фенола (в обеих испытанных концентрациях) содержание общего белка в слизи (рис 1 б,г) достоверно зависит от сдвигов всех гелиофизических параметров, измеренными как в день, так и за день до отбора проб.

Таблица 1
Коэффициент корреляции динамики гелиофизических факторов и биохимических параметров в наружной слизи рыб при воздействии фенола и солей тяжелых металлов

Сут.	Биохим. парам.	Контроль			Фенол 5 мг/л			Фенол 10 мг/л			CuSO ₄			PbNO ₃			ZnSO ₄		
		W	F	Ak	W	F	Ak	W	F	Ak	W	F	Ak	W	F	Ak	W	F	Ak
1а	Гемоглобин	-0,49	0,76	-0,17	-0,42	-0,41	-0,27	-0,46	-0,39	-0,31	-0,53*	-0,61*	-0,79**	-0,54*	-0,71**	-0,77**	-0,57*	-0,64*	-0,77**
	Белок	0,07	0,14	0,00	-0,60*	-0,58*	-0,51*	-0,67*	-0,59*	-0,51*	0,27	0,28	0,69	-0,11	-0,06	-0,02	-0,07	-0,30	0,08
N	Гемоглобин	-0,80	0,76*	0,45	-0,44	-0,37	-0,22	-0,48	-0,45	-0,27	-0,30	-0,61*	-0,52*	-0,20	-0,67**	-0,41	-0,37	-	-0,58*
	Белок	0,36	0,32	0,77*	-0,64*	-0,66*	-0,54*	-0,56*	-0,43	-0,46	0,15	0,23	0,46	0,11	0,43	0,23	0,12	-0,29	0,08
1б	Гемоглобин	-0,77	0,58	0,15	-0,51*	-0,49	-0,01	-0,47	-0,47	-0,05	-0,14	-0,61*	-0,31	-0,03	-0,61*	-0,22	-0,06	-0,63*	-0,38
	Белок	0,38	0,54	0,71	-0,57*	-0,47	-0,38	-0,60*	-0,54*	-0,29	-0,22	0,23	0,18	-0,09	-0,29	0,10	-0,02	-0,15	0,12

Примечание: * $p < 0,05$

** $p < 0,01$

1а – сутки, предшествующие отбору проб

N – день эксперимента

1б – сутки после отбора проб

Обсуждение

Известно, что одним из критериев стресса является появление гемоглобина в слизи, а его количество коррелирует со степенью развития синдрома (Лебедева и др., 1993). Следует отметить, что снижение концентрации гемоглобина в период последствия в наших экспериментах протекает постепенно и в колебательном режиме, а характер этой кривой однотипен для всех токсикантов. Выявленная нами нормализация концентрации общего белка в наружной слизи после воздействия токсикантов происходит по синусоиде. Найдены более значительные по величине и направленности экстремумы содержания общего белка. К концу эксперимента происходит полная или частичная нормализация этого параметра.

Обнаруженная достоверная зависимость интенсивности некоторых параметров солнечной активности и радиоизлучения с биохимическими сдвигами позволяет, по нашему мнению, объяснить флуктуацию последних у интактных и подвергнутых воздействию токсикантов рыб как реакцию на изменение космических факторов. Вместе с тем особенности и различия биохимических изменений у рыб разного физиологического статуса могут явиться одной из характеристик последней. Отличия проявляются и в корреляции изучаемых параметров с различными гелиофизическими факторами у интактных и подвергшихся воздействию токсикантов рыб.

Следует особо отметить избирательную связь изучаемых биохимических параметров с интенсивностью гелиофизических факторов. Так найдена корреляция последних с концентрацией общего белка при воздействии фенола на рыб, а гемоглобина при воздействии солей тяжелых металлов. Можно предположить, что характер ритмов и корреляционных зависимостей, найденных у интактных карпов является одним из отражений нормального физиологического состояния организма. Возможно, проявлением сдвигов физиологического статуса является изменение амплитуды, частоты и периода обнаруженных колебаний, а так же десинхронизация ритмов (по сравнению с таковыми у интактных рыб). Нам представляется, что характер синусоиды биохимических параметров под воздействием каждого токсиканта информативен, поскольку отражает специфику действия на метаболизм определенных гелиофизических факторов. Так характер экстремумов общего белка при последствии солей тяжелых металлов характеризует воздействие гелиофизических факторов на процессы репарации именно от данного металла. Вместе с тем параметры синусоиды изучаемых критериев являются и отражением особенности реакции организма на данный токсикант. Кроме того представляют интерес полученные факты по корреляции сдвигов биохимических параметров с величиной гелиофизических факторов, измеряемых не только в день тестирования, но и за одни сутки, предшествующие биохимическому эксперименту, а так же на следующий день после него.

Поскольку известно, что реакция организмов на изменения окружающей среды формируется на различных уровнях организации жизни, выявленную корреляцию можно рассматривать как некое "предчувствие" или "последствие" на биохимическом уровне изменений интенсивности гелиофизических

факторов. Найденные зависимости отражают процессы, которые, возможно, подготавливают организм заранее или являются реакцией на произошедшие изменения окружающей среды. Воздействие гелиофизических факторов на физиологический статус следует учитывать при проведении хронических экспериментов.

К сожалению, на основании полученных данных невозможно высказать даже предположение о механизме взаимодействия биохимических и гелиофизических факторов. Выявленная нами корреляция колебаний, гелиофизических факторов с величиной изучаемых биохимических параметров, может, вероятно, иллюстрировать роль первых в биохимической адаптации. Представляет большой интерес исследование экологических адаптаций к внешним факторам, действующим в пороговых и подпороговых концентрациях, внешне не приводящих к поражению организма. Сложное комбинирование внешних, в частности, космических воздействий с адаптивным течением физиологических процессов, вероятно, проявляется как форма ритмической изменчивости биохимических параметров у интактных животных, отражая пределы нормальной регуляции физиологических процессов. Вместе с тем сложное комбинирование ритмов может привести организм к новым биологическим состояниям. Воздействию на организм природных факторов различной природы химических физических, гелиофизических и экологических как правило суммируются. Аддитивность их действия может привести к повреждающему эффекту. Изучение биохимической природы адаптаций на воздействие совокупности факторов, а так же выявление механизмов реакций и причинной связи между ними и факторами среды представляется перспективным. Подобные исследования позволяют оценить воздействие гелиофизических факторов на жизнь и деятельность рыб. "В системе среда организм у последнего устанавливаются по отношению к факторам среды глукосе метаболические связи" (Вернадский, 1977).

Заключение

У рыб, подвергнутых токсикологическим воздействиям выявлены достоверные корреляционные зависимости физиологического статуса оцененного по величинам биохимических показателей с уровнем изменения гелиофизических факторов интенсивности солнечной активности и общего потока радиоизлучений. Обнаружена корреляция концентрации общего белка и гемоглобина в наружной слизи с величиной магнитной возмущенности (A_k) и интенсивностью солнечных пятен, оцененных в числах Вольфа (W), а также интенсивностью общего потока радиоизлучений (F), измеряемыми за один день, предшествующий биохимическому анализу, а также с гелиофизическими факторами, измеряемыми в день эксперимента.

Полученные корреляционные зависимости у рыб находящихся под влиянием токсикантов отличаются от таковых, найденных у интактных рыб. Обнаружена также специфика корреляции при воздействии каждого из токсикантов. Найденные зависимости позволяют, по мнению авторов, объяснить флуктуацию последних как особенности реадaptации под воздействием космических факто-

ров. Представляется необходимым при оценке и прогнозировании эффекта у рыб от воздействий факторов окружающей среды учитывать влияние гелиофизических факторов на физиологический статус рыб. Роль космических и биологических ритмов в их единстве важна для конкретизации представлений о приспособляемости организмов к условиям окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедева Н.Е., Касумян А.О., Головкина Т.В. 2000. Коррекция физиологического статуса карпа *Surginus carpio* естественными химическими сигналами // *Вопр. ихтиологии* Т. 40. N 2. С. 247-255.
2. Лебедева Н.Е., Головкина Т.В. 1998. Воздействие гелиофизических факторов на биохимические параметры наружной слизи рыб (на примере карпа) // *Биофизика*. Т. 43. Вып. 5. С. 803-806.
3. Лебедева Н.Е., Головкина Т.В. 1987. Состав и некоторые свойства слизи растительных рыб как критерий стрессового состояния. *Вестник МГУ Сер. 16. N 4*, с. 28-33.
4. Лебедева Н.Е., Головкина Т.В. 1988. Использование биохимических методов для оценки физиологического состояния рыб при действии химических сигналов // *Сенсорная физиология морских рыб*. Апатиты: Мурманский мор. биол. ин-т АН СССР. С. 37-40.
5. Лебедева Н.Е., Восилене М.З., Головкина Т.В. 1993. Особенности стресса у радужной форели выделение химических сигналов опасности // *Вопр. ихтиологии*. Т. 33. Вып. 2. С. 281-287.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА НА ЛЭП

Найдис Г.В., Солозобов Ю.М.

Объекты электроэнергетики, как элемент промышленной инфраструктуры, оказывают заметное влияние на окружающую среду. Воздушные линии электропередач (ВЛ) имеют протяженность в десятки тысяч километров и проходят через все регионы России с различной экологической обстановкой. Население, проживающее вблизи ВЛ, а также персонал подстанций, испытывают экологическую нагрузку, обусловленную как токсикогенами водной и воздушной сред, так и электромагнитными полями объектов электроэнергетики. Поэтому оценка экологической обстановки вблизи электросетевых установок должна включать в себя комплексное исследование всех вредных факторов: от электромагнитных полей промышленной частоты до радиационных и токсических воздействий [1].

Если вопрос о негативном влиянии на человека электромагнитных полей, создаваемых электроустановками, в настоящее время активно изучается и обсуждается международными электротехническими и медицинскими организациями с целью выработки нормативных документов по защите населения и персо-

нала, то вопрос о токсикологическом влиянии ВЛ остается открытым. Между тем известно, что коронный разряд на проводах ВЛ (т.н. коронирование) сопровождается образованием озона и окислов азота. На характеристики коронного разряда значительное влияние оказывают погодные условия. Так, атмосферные осадки приводят к резкому росту потерь энергии на коронирование. Пропорционально потерям растет и интенсивность образования токсических веществ. Отметим, что ВЛ относятся к постоянно действующим источникам загрязнения, находящимся в опасной близости к жилищу.

Образование озона вблизи ВЛ было экспериментально подтверждено в ходе масштабных экспериментов TROICA [2]. На всем протяжении трассы Москва – Хабаровск измерительная аппаратура, установленная в специальном железнодорожном вагоне, фиксировала рост концентрации озона при пересечении ВЛ. В Японии проводились исследования короны на испытательной ВЛ, включающие измерения концентраций озона и сбор образцов атмосферных осадков (воды) непосредственно под ВЛ для определения концентрации окислов азота [3]. Однако полномасштабное исследование токсикологического влияния ВЛ не проводилось.

Все вышесказанное подчеркивает актуальность и масштабность задачи. Это делает необходимым проведение исследований для построения модели коронного разряда на высоковольтных проводах электроустановок с учетом процессов электронной и ионной кинетики.

Для теоретического описания явлений на ВЛ могут быть использованы подходы, разработанные авторами для описания различных режимов коронного разряда [4-9]. Предложенные в указанных работах модели содержат кинетические схемы процессов образования озона и окислов азота, с использованием имеющихся в литературе данных о константах скоростей кинетических процессов и коэффициентах переноса. В результате расчетов определены энергетические цены образования ряда активных радикалов в разрядных условиях. Полученные данные хорошо согласуются с данными лабораторных экспериментов по наработке озона и окислов азота в различных режимах горения коронного разряда в воздухе.

Наиболее эффективная наработка химически активных частиц имеет место в стримерных (импульсных) режимах горения разряда. Так, максимальные значения эффективности наработки озона составляют 70 г на 1 кВт.ч вложенной в разряд энергии, окиси азота – 5 г/кВт.ч. Эффективность наработки радикалов ОН пропорциональна мольной доле паров воды в воздухе X_{H_2O} , ее максимальное значение составляет $\sim 80X_{H_2O}$ г/кВт.ч. В режимах непрерывного горения эффективность генерации радикалов снижается примерно на порядок. Для оценки эффективности наработки химически активных частиц в реальных условиях коронирования ВЛ, когда разрядный ток имеет как постоянную, так и импульсную составляющие, естественно принять значения в 2-3 раза меньшие максимальных.

Согласно теоретическим оценкам, количество активных частиц, вырабатываемых в единицу времени на единице длины ВЛ, пропорционально удельным

потерям мощности на коронирование. Последние, как отмечалось выше, существенно зависят от погодных условий. Так, в сухую погоду характерные потери мощности составляют 1,4-4 кВт/км, при дожде – 20-40 кВт/км, при изморози – 40-100 кВт/км [10,11].

Согласно эксперименту [2], ЛЭП-500 производят в среднем 30-60 г/км.ч озона. Оценки же, при величине потерь мощности на корону в 2-3 кВт/км и эффективности наработки озона 30 г/кВт.ч, дают для интенсивности генерации озона значения 60-90 г/км.ч, сопоставимые с данными [2].

Оценки для интенсивности образования азотной кислоты при коронировании ВЛ по методике, описанной выше, дают для сухой погоды величину ~ 10 г/км.ч. Это довольно значительная величина, между тем при сочетании неблагоприятных погодных условий, как-то: туман, дождь – интенсивность образования азотной кислоты может вырасти более чем на порядок. Отметим, что предельные допустимые концентрации (ПДК) озона и фосгена одинаковы, для азотной кислоты ПДК на порядок меньше.

ВЛ не являются единственными объектами электроэнергетики, на которых возможно образование токсических веществ. Потери на коронирование характерны как на протяженных ВЛ, так и на компактных объектах, расположенных в населенных пунктах – открытых распределительных устройствах (ОРУ), где суммарная длина проводов составляет 3-5 км. За счет близости высоковольтных проводов к земле потери на ОРУ превосходят аналогичные на ВЛ в 3-6 раз и достигают в среднем 60 кВт/км [12]. С ростом потерь увеличивается образование токсических веществ. ОРУ, как и ВЛ, относятся к круглосуточно действующим источникам загрязнения окружающей среды, находящимся рядом с жильем.

Данные, приведенные выше, указывают на необходимость построения детальной численной модели коронирующей ВЛ с учетом процессов переноса токсичных примесей в реальной атмосфере. Требуется дополнительное исследование для нахождения границ ПДК различных токсикогенов для ряда групп погодных условий.

Поскольку озон является одним из сильнейших окислителей, активно участвующим в химических реакциях, приведенные авторами данные представляют особый интерес для биологов и экологов. Влияние токсикогенов, генерируемых короной на ВЛ, в том числе озона и окислов азота, является новым фактором воздействия на биоценозы, расположенные вблизи энергоустановок. Конечной целью исследований является получение достоверной информации о реальной опасности здоровью человека, а также выработка рекомендаций для персонала подстанций и населения, располагающегося рядом с ОРУ и ВЛ.

Литература

1. Дьяков А.Ф., Никитин О.А., Коробков Н.В., Давыдов Б.И. Комплексная оценка экологической ситуации на электросетевых объектах сверхвысокого напряжения ЕЭС России. Вестник электроэнергетики, 1996, №3, с.13-23.

2. Еланский Н.Ф., Невраев А.Н. Высоковольтные линии электропередач как возможный источник озона в атмосфере, ДАН, 1999, т.365, № 4, с.533-536.
3. Савада У., Фукушима М., Ясуи М. Исследование короны по проекту 1000 кВ института CRIEPI в Акаги, - В сб.: "Влияние электроустановок на окружающую среду. Релейная защита. (СИГРЕ-84)", М., Энергоатомиздат, 1986, с.7-16.
4. Мнацаканян А.Х., Найдис Г.В., Солозобов Ю.М. К теории коронного разряда в нагретом воздухе, Теплофизика высоких температур, 1986, т.24, с.1006-1111.
5. Мнацаканян А.Х., Найдис Г.В., Солозобов Ю.М. Моделирование импульсов отрицательного коронного разряда в азотно-кислородных смесях, Препринт ИВТАН № 1-334, М., 1992. 26с.
6. Naidis G.V. Modelling of plasma chemical processes in stable corona discharges at thin wires, J. Physics D: Appl. Phys., 1992, v.25, pp.477-480.
7. Kulikovskiy A.A., Mnatsakanyan A.Kh., Naidis G.V., Solozobov Yu.M. Models for positive corona streamer propagation in air and combustion products, In: Proc. XXI Intern. Conf. on Phenomena in Ionized Gases, Bochum, 1993, v.1, pp.297-298.
8. Naidis G.V. Modelling of plasma chemical processes in pulsed corona discharges, J. Physics D: Appl. Phys., 1997, v.30, pp.1214-1218.
9. Babaeva N.Yu., Naidis G.V. 2-D modeling of positive streamer propagation in flue gases in sphere-plane gaps, IEEE Trans. Plasma Sci., 1998, v.26, pp.41-45.
10. Левитов В.И. Корона переменного тока, М., Энергия, 1975. 280с.
11. Емельянов Н.П., Козлов В.С. Коронный разряд на проводах, Минск, Наука и техника, 1971. 240с.
12. Костюшко В.А., Тамазов А.И. Коронирование на пучке проводов при переменном напряжении, Электричество, 1997, №6, с.40-45.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ НА ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ «МИР»

В.Г. Митрикас*, М.В. Тельцов**, В.В. Цетлин*.

* - Государственный научный центр РФ - Институт медико-биологических проблем РАН

** - Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ

К настоящему времени накоплен значительный опыт [1,2] в решении проблемы обеспечения радиационной безопасности космических полетов, но многие аспекты остаются нерешенными. Существенные трудности связаны с еже-

дневным прогнозом радиационной обстановки на орбите космического аппарата (КА) и соответственно оценкой радиационного воздействия, т.е. оценкой поглощенной и эквивалентной дозы, на космонавтов.

Различные сочетания факторов полета приводили в реальных космических условиях к разнообразным результатам в оценках поглощенных доз на космонавтов [1,2].

Для низких орбит 200 - 300 км средняя мощность поглощенной дозы внутри КА составляла 50 - 100 мкГр/сутки [2] (1 мрад = 10 мкГр). Измерения, проведенные в модуле Spacelab-1, показали, что вклад в дозу от частиц радиационных поясов Земли (РПЗ) составлял от 15% до 40% суммарной дозы, наибольший вклад обеспечивался частицами галактических космических лучей (ГКЛ).

При повышении орбиты до 350 - 450 км мощность поглощенной дозы увеличивалась до 150 - 250 мкГр/сутки на орбитальной станции (ОС) «САЛЮТ» [1], до 200 - 700 мкГр/сутки на ОС «МИР» [3-5] и вклад в поглощенную дозу от излучений РПЗ становился определяющим, достигая 70 - 90%.

На высоте 510 км при полете корабля Atlantis мощность поглощенной дозы достигала 1078 мкГр/сутки [2].

Оба основных источника космических излучений медленно меняются во времени, наиболее характерным отличием их является практически двойное изменение интенсивности от периода максимума солнечной активности (max SA) к периоду минимума солнечной активности (min SA). По этой причине наиболее распространенными моделями источников являются феноменологические описания, основанные на большом количестве экспериментальных данных. После различных видов обработки этих данных модели даются в виде таблиц или номограмм как для фазы max SA, так и для фазы min SA. Остается невыясненным вопрос о поведении источников (соответственно поглощенных доз) в промежуточное, относительно фаз экстремумов солнечной активности, время.

В настоящей работе основное внимание уделено РПЗ.

Основные модели РПЗ представлены ГОСТ [6,7]. Эти модели основаны на экспериментальных результатах, обобщенных в советской книге [8] и в американских моделях AP-1 - AP-8 (называемых также моделями Vette [9-14]). В основу всех моделей положено представление о равенстве интенсивностей потоков заряженных частиц в одинаковых L -, B - координатах.

Модель AP-1 охватывает достаточно узкий диапазон энергий протонов в 30 - 50 МэВ. Расширение диапазона энергий до 15 - 30 МэВ дано в модели AP-2, свыше 60 МэВ в модели AP-3, в диапазоне энергий 4-15 МэВ в модели AP-4.

По мере увеличения объема экспериментальных данных модели развивались, и наибольшее распространение получила модель AP-8 для диапазона энергий 0,1 - 400 МэВ [10]. При анализе экспериментальных результатов, положенных в основу этой модели, ее авторы отмечают наличие различных вариаций.

1. Вариации, обусловленные солнечной активностью, т.е. min и max SA. Модель, построенная на экспериментальных данных, полученных в период солнечного минимума эпохи 1965 г., была названа AP8MIN. Модель, построенная на экспериментальных данных, полученных в период солнечного максимума

эпохи 1970 г., была названа AP8MAX. Сравнение моделей показало, что они различаются примерно в 2 раза на высотах до 1000 км и для L менее 3 радиусов Земли.

2. Наличие кратковременных отклонений после сильных магнитных бурь. Так для $L \geq 2,2$ после бури с $D_{st} \approx 370$ гамм в мае 1967 г. потоки протонов с энергиями 25 - 100 МэВ уменьшились примерно в 4 раза, и их восстановление продолжалось около 6 мес. Одновременно произошло увеличение потоков протонов с энергиями 8 - 25 МэВ при $L = 3$ в 10 раз. Максимум увеличения пришелся на $L = 2,2$. Т.е. как бы произошла перекачка протонов из одного энергетического диапазона в другой. После других сильных магнитных бурь происходило как увеличение потоков протонов, так и их уменьшение.

3. Наличие вариаций, связанных с атмосферной плотностью. В частности, отмечены полугодовые вариации. Наблюдалось уменьшение потоков протонов с энергиями 50 - 90 МэВ на 60% в период 1966 - 1969 гг. Теоретически предсказано изменение дифференциального спектра протонов при 24 МэВ за солнечный цикл в 10 раз, а при 60 МэВ в 3 раза, с запаздыванием относительно изменений атмосферной плотности на 1 год.

4. Авторы [10] указывали на необходимость учета векового уменьшения магнитного поля Земли.

Общая оценка возможностей этих моделей оценивается с коэффициентом неопределенности 2 для протонов и 6 для электронов [11]. Неопределенность отечественных ГОСТов установлена в $\pm 0,5$ по логарифмам интенсивностей. Это дает возможность различия расчетных результатов в 10 раз.

По результатам ежедневного оперативного контроля радиационной обстановки на ОС «Мир» в Службе радиационной безопасности ИМБП была сформирована база данных [15], в которую включены суточные значения параметров орбиты, некоторые гелио- геофизические индексы и суточные приращения поглощенной дозы на ОС «Мир».

В качестве основного результата, полученного с использованием сформированной базы данных, приведем результаты измерений мощности поглощенной дозы в отсеках ОС «Мир» по показаниям радиометра P-16 по каналу D2. На рис.1 показана динамика усредненных по месяцам среднесуточных значений мощности дозы за период полета станции с 8 февраля 1987 г. по 25 февраля 2001 г., охватывающий полет 27 основных экспедиций. Отметим, что в приведенном графике исключены дозы, обусловленные СПС. В дни резкого возрастания мощности поглощенной дозы, вызванного приходом на орбиту излучений от СПС, в качестве суточных приращений поглощенной дозы использовались значения, полученные за предшествующие 2 - 3 суток.

В таблице 1 представлены накопленные поглощенные дозы за время работы каждой основной экспедиции и среднесуточные мощности поглощенных доз, определенные по показаниям радиометра P-16 по каналу D2. Из анализа данных рис.1 и табл.1 следует, что среднесуточная мощность поглощенной дозы находится в противофазе SA. Среди всех миссий выделяются экспедиции с высоким значением среднесуточной мощности поглощенной дозы:

- ЭО-5, во время которой произошли самые мощные за 22-й цикл СА^А солнечные протонные вспышки;

- ЭО-9, во время которой, на фазе общего роста среднесуточной мощности поглощенной дозы произошла серия СПС в июне 1991г., давшая дополнительный вклад в рассматриваемый функционал;

- ЭО-15 - период этой экспедиции совпал с периодом максимума вариаций поглощенной дозы (см. ниже);

- ЭО-19 и ЭО-20 - эти экспедиции пришлось на общий максимум динамики поглощенной дозы, который сложился из максимума почти 11-летней вариации (близко к min СА) и максимумов, обнаруженных в последующем анализе, других, более короткопериодических вариаций.

При всех колебаниях среднесуточной мощности поглощенной дозы ни в одном случае не были превышены предельно допустимые уровни облучения космонавтов [16].

По классической схеме обработки экспериментальных данных [17] рекомендуемая последовательность действий выглядит следующим образом: приведение к нулевому среднему и единичной дисперсии, удаление тренда, фильтрация. В данном случае использована иная последовательность действий.

Поскольку время передачи показаний радиометра Р-16, как правило, не совпадало со временем задания баллистических параметров, а кратность орбиты (количество суток, через которое проекции 1-го суточного и последующих витков совпадают или почти совпадают друг с другом) менялась от 2 (в период эксплуатации ОС «Мир» по апрель 1989г.) до 3 (в период эксплуатации ОС «Мир» с сентября 1989г.), то результаты измерений обрабатывались нерекурсивным фильтром вида:

$$D_i = \frac{1}{9}(D_{i-2} + 2D_{i-1} + 3D_i + 2D_{i+1} + D_{i+2}) \quad (1)$$

где i - номер рассматриваемого дня.

Передаточная функция такого фильтра всюду положительна и практически обращает в ноль колебания с периодом менее 4-х суток. На частоте $0,25 \text{ сут}^{-1}$ значение передаточной функции равно 0,111. Проведенная обработка позволила, в основном, исключить случайные выбросы или провалы в экспериментальных данных. В дальнейшем будут рассматриваться только среднемесячные характеристики различных функционалов, полученные из этой базы данных.

Перед тем как привести результаты статистической обработки, необходимо сделать ряд оговорок. Во-первых, для удобства анализа статистических связей мощности поглощенной дозы с другими параметрами, мы дополнили исходный ряд значениями в беспилотный период эксплуатации ОС «Мир» на основе методов фильтрации [18]. Во-вторых, рассматривая среднемесячные значения мощности поглощенной дозы, чисел Вольфа, потоков радиоизлучения Солнца и других космофизических индексов как функции времени, мы имеем некоторые реализации случайных процессов. Процедуры статистического оценивания, строго говоря, применимы к таким процессам только в случае их стационарности.

Таблица 1. Радиационные нагрузки на экипажи основных экспедиций на ОС «Мир»

№	Экспедиция	Период	D_x , мкГр	D , мкГр/сутки	W , от.ед.
1	ЭО-2	08.II.87-29.XII.87	77400	$238,2 \pm 58,1$	31,77
2	ЭО-3	21.XII.87-20.XII.88	64950	$177,5 \pm 27,3$	95,56
3	ЭО-4	26.XI.88-26.IV.89	30200	$198,7 \pm 73,9$	152,21
4	ЭО-5	06.IX.89-19.II.90	69750	$420,2 \pm 1981,9$	161,34
5	ЭО-6	11.II.90-09.VIII.90	32400	$180,0 \pm 37,6$	134,77
6	ЭО-7	01.VIII.90-10.XII.90	26000	$197,0 \pm 46,5$	152,40
7	ЭО-8	01.XII.90-26.V.91	42850	$242,1 \pm 178,4$	138,77
8	ЭО-9	18.V.91-10.X.91	54150	$370,9 \pm 180,1$	157,21
9	ЭО-10	02.X.91-25.III.92	49750	$282,7 \pm 46,9$	136,29
10	ЭО-11	17.III.92-10.VIII.92	40150	$273,1 \pm 42,7$	83,58
11	ЭО-12	27.VII.92-05.II.93	68000	$350,5 \pm 48,3$	74,26
12	ЭО-13	24.I.93-22.VII.93	85850	$476,9 \pm 66,5$	64,32
13	ЭО-14	01.VII.93-14.I.94	89150	$450,2 \pm 49,0$	46,06
14	ЭО-15	08.I.94-09.VII.94	95050	$518,9 \pm 71,0$	29,25
15	ЭО-16	01.VII.94-06.XI.94	63150	$489,5 \pm 59,8$	32,09
№	Экспедиция	Период	D_x , мкГр	D , мкГр/сутки	W , от.ед.
16	ЭО-17	04.X.94-22.III.95	80650	$474,4 \pm 72,2$	28,89
17	ЭО-18	14.III.95-04.VII.95	67450	$596,9 \pm 71,1$	17,66
18	ЭО-19	27.VI.95-11.IX.95	50900	$661,0 \pm 77,2$	13,33
19	ЭО-20	03.IX.95-29.II.96	109800	$610,0 \pm 44,0$	11,42
20	ЭО-21	21.II.96-02.IX.96	104450	$535,6 \pm 50,8$	9,12
21	ЭО-22	17.VII.96-02.III.97	96750	$488,6 \pm 56,6$	9,20
22	ЭО-23	10.II.97-14.VIII.97	96050	$516,4 \pm 64,2$	7,60
23	ЭО-24	05.VIII.97-19.II.98	78800	$394,5 \pm 49,7$	19,51
24	ЭО-25	29.I.98-25.VIII.98	69900	$334,4 \pm 55,3$	83,18
25	ЭО-26	13.VIII.98-28.II.99	56150	$280,8 \pm 58,8$	106,38
26	ЭО-27	22.II.99-28.VIII.99	38700	$205,8 \pm 28,2$	138,06
27	ЭО-28	04.IV.2000-15.VI.2000	13700	$190,0 \pm 31,0$	190,07

где: D_x - накопленная поглощенная доза;

D - среднесуточная мощность поглощенной дозы \pm стандартное отклонение;

W - среднее за время экспедиции значение чисел Вольфа.

Поскольку мы заранее знаем, что все эти процессы нестационарные, то попытаемся их представить в виде суммы детерминированной нестационарной части и некоторой добавки, которую будем исследовать. Нестационарная часть будет рассматриваться как тренд изучаемой функции на цикле солнечной активности. В качестве примера удачной аппроксимации циклических кривых солнечной активности для чисел Вольфа приведем представление Хвойковой (по ссылке в [19]) в виде:

$$W = \frac{W_M}{2} \left[1 - \text{Cos} \frac{2\pi t}{\alpha(T_A + T_D) + (1-\alpha)t} \right] \quad (2)$$

где: $\alpha = \frac{T_A}{T_D}$ - показатель асимметрии цикла; T_A - продолжительность ветви роста цикла; T_D - продолжительность ветви спада цикла; t - время от начала цикла; W_M - максимальное значение числа Вольфа в рассматриваемом цикле; $T_A + T_D = T_C$ - длительность цикла СА.

Поскольку для каждого цикла СА значения T_A и T_D различны, то формула (2) представляет описание нестационарного эруптивного (взрывного) цикла.

Поступая аналогичным образом с динамикой мощности поглощенной дозы, необходимо помнить, что поведение источников радиации должно в большей степени определяться динамикой потоков ГКЛ. В период min СА потоки ГКЛ возрастают, соответственно возрастают потоки нейтронов альbedo, продукты распада которых - протоны и электроны формируют РПЗ. В период max СА солнечная активность приводит к возрастанию в области орбиты станции плотности атмосферы, которая оказывает возрастающее влияние на ионизационное торможение протонов и электронов, что в итоге приводит к уменьшению потоков протонов по сравнению с периодом min СА. С другой стороны, в период max СА возрастает количество геомагнитных возмущений, которые приводят к увеличению потоков электронов во внешней зоне за счет диффузии их из областей с высокими значениями параметра Мак-Илвайна L в области с меньшими значениями этого параметра. В итоге это увеличивает потоки электронов по сравнению с периодом min СА [14].

Описание динамики потоков ГКЛ и поглощенной дозы будет отличаться от формы (4). Мы использовали такую форму [20]:

$$D(t) = D_1 + D_2 \left(\text{Cos} \left(\frac{2\pi t}{\alpha T_C + (1-\alpha)t} \right) + D_3 \text{Sin} \left(\frac{2\pi t}{T_{CC}} \right) \right) \quad (3)$$

где: D_1, D_2, D_3 - не зависящие от времени параметры. D_1 имеет смысл полу суммы поглощенных доз для периодов min СА и max СА, D_2 имеет смысл полу разности поглощенных доз для периодов min СА и max СА, произведение $D_3 D_2$

имеет смысл амплитуды 22-летней вариации; T_{CC} - суммарная продолжительность двух солнечных циклов; остальные обозначения аналогичны формуле (2).

В отличие от (2) в данном случае начало цикла будет определяться min потоков ГКЛ или max СА. На рис. 1 представлены результаты аппроксимации тренда для динамики поглощенной дозы по каналу D2 (тонкая кривая).

Из процедуры аппроксимации следует, что для периода между max 21-го и 22-го цикла СА используются одни значения входящих в (2) параметров. Существенное влияние на динамику среднемесячных значений суточной мощности поглощенной дозы в этот период оказывали частые коррекции высоты орбиты станции и достаточно низкие значения средних высот. В период после середины 1990 г. используются другие значения входящих в формулу (2) параметров. При использовании расчетных моделей, где обязательно должна учитываться зависимость мощности поглощенной дозы от высоты, следует ожидать лучшего описания тренда в интервале времени до VI.90 г.

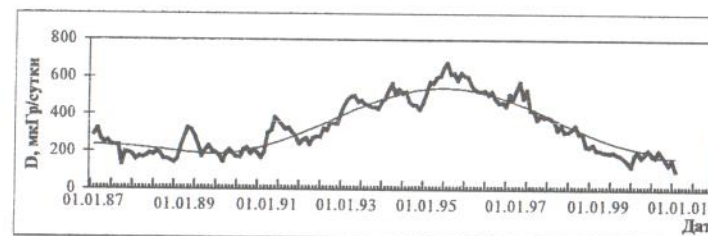


Рис. 1. Аппроксимация усредненных по месяцам среднесуточных мощностей поглощенных доз (сплошная тонкая кривая), измеренных на ОС «Мир».

Из анализа рис. 1 следует, что в функции $RD(t)$, равной разности между экспериментальными среднемесячными значениями поглощенных доз и аппроксимирующим трендом, следует ожидать наличия различных вариаций. Прежде чем выполнить процедуры статистического оценивания проверим функцию $RD(t)$ на стационарность. В соответствии с рекомендациями [17] мы вычислили оценки среднего квадрата функции $RD(t)$ на интервале времени в 5 лет. Затем проверили полученную последовательность на наличие тренда по критерию инверсий. Для числа интервалов $N=100$ число инверсий $A=2698$, что позволяет принять гипотезу об отсутствии тренда на уровне значимости 5% и функция $RD(t)$ является слабо стационарной. (Область принятия данной гипотезы ограничена сверху значением $A_{100;0,025}=2804$, снизу - $A_{100;0,975}=2145$). Для проверки предположения о наличии у функции $RD(t)$ периодичностей мы вычислили ее спектральную плотность мощности. Оценка спектральной плотности мощности проводилась методом Блэкмана-Тьюки с использованием сглаживающего окна Хемминга [21]. На рис. 2 представлены результаты расчетов.

Из рассмотрения рис. 2 следует, что поиски вариаций можно проводить для трех частот (или периодов T) $\nu = 0,0391; 0,0586; 0,0820$ мес⁻¹ ($T = 25,6; 17,1$ и

12,2 мес.). Из работы [19] известно, что большинство периодичностей с $T < 11$ лет, обнаруженных в проявлениях солнечной активности, носят непостоянный характер, появляясь на 2-3 солнечных цикла.

Для проверки стабильности обнаруженных частот (периодов) вариаций $RD(t)$ мы провели спектрально-временной анализ, заключающийся в том, что плотности спектра мощности вычислялись на базе данных длиной в 5 лет со сдвигом начала отсчета на 0,25 года (3 мес.). Для удобства рассмотрения на рис. 3 представлена динамика положения периодов пикообразующих вариаций плотности спектра мощности $RD(t)$ как функция окончания интервала, для которого проводились вычисления.

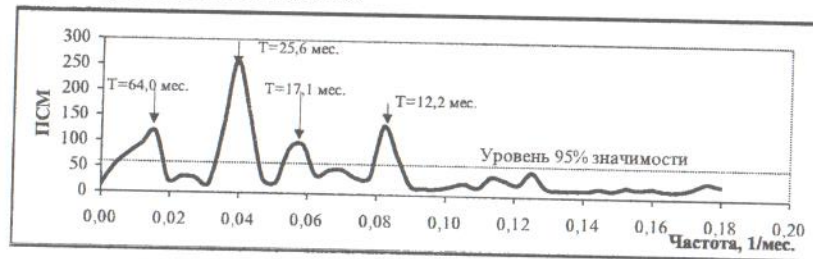


Рис. 2. Спектральная плотность мощности $RD(t)$.

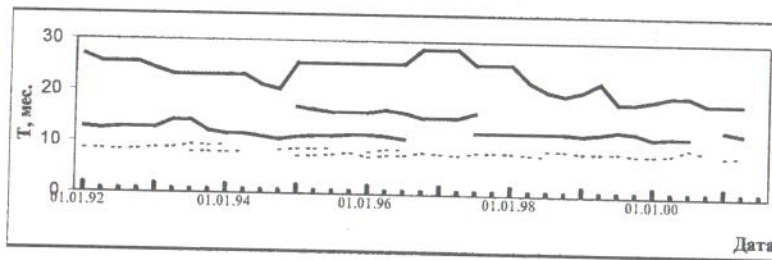


Рис. 3. Динамика положения пикообразующих периодов плотности спектра мощности $RD(t)$.

Анализ динамики пикообразующих периодов дает следующие средние значения периодов вариаций \pm стандартное отклонение: $T_1 = 23,23 \pm 3,19$ мес.; $T_2 = 15,93 \pm 0,65$ мес.; $T_3 = 12,11 \pm 0,81$ мес. Особенностью первой вариации можно считать тот факт, что в течение 22-го цикла СА среднее значение периода вариации равно $T_1 = 25,11 \pm 1,97$ мес., а за рассмотренную часть 23-го цикла СА $T_1 = 19,61 \pm 1,44$ мес. Вторая вариация, имеющая достаточно высокий пик в плотности спектра мощности, вычисленном сразу для всего периода наблюдений, проявлялась всего 11 раз в рассмотренных 38 интервалах, отсутствовала до 1995 г. и после середины 1997 г. снова пропала. Вполне возможно, что в этой вариации

проявилась особенность 22-го цикла СА на фазе его окончания, либо именно в этом проявилось пренебрежение динамикой изменения высоты орбиты в начальной части рассматриваемого интервала времени. Также возможно, что данная вариация является возмущением [19]. Третья вариация не проявлялась в 1996,75-1997,25 г. Другие вариации ($T \approx 8,6$ мес., $\approx 7,3$ мес., $\approx 6,5$ мес., $\approx 5,7$ мес. и $\leq 5,0$ мес.) также проявлялись не на протяжении всего рассматриваемого интервала времени, к тому же амплитуды этих вариаций имеют уровень фона. Помимо рассмотренных пиков плотности спектра мощности остальную его часть смело можно интерпретировать как низкочастотный белый шум.

Если пытаться найти физическую интерпретацию найденным вариациям, то для около двухлетней вариации имеется хороший аналог в динамике потоков ГКЛ [22,23]. В плотности спектра мощности интенсивности ГКЛ наблюдается двойной пик в районе частоты, соответствующей периоду колебаний около 2-х лет: ~ 23 мес. и ~ 20 мес., т.е. периоды вариаций, близкие к периодам, обнаруженным в спектрально-временном анализе функции $RD(t)$.

Вариация с периодом около года («сезонные» вариации [24]), скорее всего, обусловлена вариациями плотности атмосферы. Плотность верхней атмосферы, определяющая механизм потерь частиц РПЗ в области ЮАА на высотах 400-500 км существенно меняется от зимы к лету. В зимний период на южное полушарие Земли приходится более высокий поток солнечной энергии по сравнению с северным полушарием. В зоне ЮАА атмосфера начинает разогреваться и расширяться вверх, что приводит к увеличению плотности атмосферы на соответствующих участках орбиты ОС «Мир». Из-за увеличения плотности атмосферы усиливается ионизационное торможение и поглощение протонов РПЗ. Такой же эффект существует для частиц ГКЛ, что приводит к уменьшению рождения протонов в результате ядерных взаимодействий частиц ГКЛ с ядрами атмосферы. Следовательно, вариация с периодом около 1 года должна проявляться по двум причинам: усиление поглощения протонов и соответственно уменьшение их вклада в поглощенную дозу, одновременно уменьшение производительности источника протонов и также уменьшение вклада в поглощенную дозу. Все эти изменения нерегулярны, отличаются от года к году и от цикла к циклу СА и поэтому неадекватно отражены в стандартных программах расчета плотности атмосферы [25].

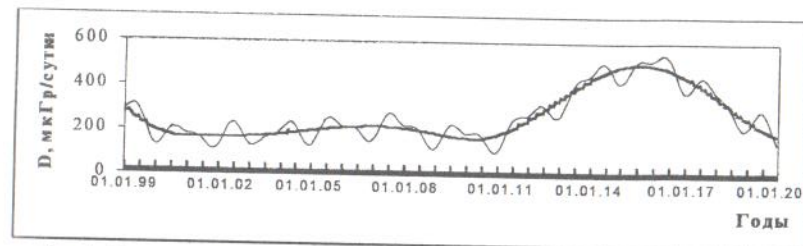


Рис. 4. Прогноз динамики поглощенной дозы на ОС «Мир» на 23-24 циклы СА (общий тренд – толстая кривая, с учетом вариаций – тонкая кривая).

Использование выявленных в настоящей работе закономерностей позволяет сделать прогноз динамики усредненных по месяцам среднесуточных значений поглощенной дозы, как если бы полет ОС «Мир» продолжался.

В данном прогнозе не учитывается ослабление геомагнитного поля, которое может привести к увеличению потоков протонов в радиационных поясах Земли.

Литература

1. Е.Е. Ковалев, А.В. Коломенский, В.М. Петров. Обеспечение радиационной безопасности. В кн. «Результаты медицинских исследований, выполненные на орбитальном научно-исследовательском комплексе «Салют-6»-«Союз». Под. ред. Н.Н. Гуровского. - М.: изд. Наука, 1986, с.54-75.
2. E.V. Benton, T.A. Parnell. Space dosimetry on UC and Soviet manned missions. - New York, 1988, p.729-794.
3. В.Г. Митрикас, В.В. Цетлин. Крупномасштабные вариации радиационной обстановки на орбите станции «МИР». - Косм. исслед., 1995, т.33, № 4, с.389-394.
4. В.А. Бондаренко, В.Г. Митрикас, В.В. Цетлин. Вариации солнечной активности и радиационная обстановка на станции «МИР» в период с 1986 по 1994г. - Авиакосмическая и экологическая медицина, 1995, т.29, №6, с.64-68.
5. В.Г. Митрикас, В.В. Цетлин. Проблемы обеспечения радиационного контроля на ОПС «Мир» в 22-м цикле солнечной активности. - Косм. исслед. 2000, т.38, № 2, с.121-126.
6. ГОСТ 25645.138. Пояса Земли радиационные естественные. Пространственно-энергетические характеристики потоков протонов. - М.: изд. стандартов, 1987, 50с.
7. ГОСТ 25645.139. Пояса Земли радиационные естественные. Пространственно-энергетические характеристики потоков электронов. - М.: изд. стандартов, 1987, 60с.
8. Модель космического пространства (модель космоса-82). Под ред. С.Н. Вернова. - М.: изд. Московского университета, т.3, 1983, 635с.
9. J.I. Vette, A.B. Lucero. Models of the Trapped Radiation Environment. NASA, SP-3024, 1967
10. D.H. Sawyer, J.I. Vette. AP-8 trapped proton environment for solar maximum and solar minimum. - MSSDS/WDC-A-R&S, NASA-Tm-X-72605. December 1976, 176 p.
11. E.V. Benton, W. Heinrich, T.A. Parnell et.al. Ionizing radiation exposure of LDEF (pre-recovery estimates). - Nucl. Tracks and Radiat. Meas., 1992, V.20, № 1, p.75-100.
12. M.J.Teague, J.I. Vette. The Inner Zone Elektron Model AE-5. National Space Science Data Center WDC-A-R&C 72-10, 1972.

13. A. L. Vampola. Electron Pitch-Angle Scattering in the Outer Zone During Magnetically Disturbed Times. Journal of Geophysical Research, 1971, v. 76, p.4446-4453.
14. А.Л. Вампола. Влияние солнечного цикла на захваченные энергичные частицы. - Аэрокосмическая техника, 1990, № 8, с. 32-48.
15. В.А. Бондаренко, В.Г. Митрикас, В.В. Цетлин. База данных о радиационной обстановке на станции «Мир» в период с 08.02.87 по 28.08.99 («База данных РО-М»). Свидетельство Российского агентства по патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), зарегистрировано в Реестре баз данных № 2000620017, г.Москва, 24 марта 2000г.
16. ГОСТ 25645.215. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Нормы безопасности при продолжительности полетов до 3 лет. -М.: изд. стандартов,- 1985, 4с.
17. Дж. Бендат, А. Пирсол. Прикладной анализ случайных данных.- М., Мир, 1989, 540с.
18. Р.В. Хемминг. Цифровые фильтры. - М., изд. Сов. Радио, 1980, 224с.
19. Ю.И. Витинский, М. Копецкий, Г.В. Куклин. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. - М., Наука, 1986, 296с.
20. В.Г. Митрикас. Модель радиационных поясов Земли для оценки радиационной обстановки на орбите ОПС «Мир».- Косм. исслед. 1999, т.37, № 5, с.1-5.
21. С.Л. Марпл-мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения. - М., изд. Мир, 1990, 584с.
22. Т.Н. Чарахчян, Г.А. Базилевская, В.П. Охлопков, Л.С. Охлопкова. Частотные спектры долгопериодических вариаций космических лучей. - Геомагнетизм и аэрономия. 1976, т.16, № 2, с.225-229.
23. Г.П. Любимов. Крупномасштабные вариации космических лучей и солнечной активности. - Известия АН СССР, Сер. Физ.,1980, т.44, № 12, с.2588-2609.
24. М.В. Тельцов, В.И. Шумшуров, В.В. Цетлин. Вариации доз радиации на станции «Мир» при изменениях геофизических условий. - Вестник МГУ. Сер. физическая. Астрономия. 1997, № 1, , с.47.
25. ГОСТ 25645.115. Атмосфера Земли верхняя. Модель плотности для баллистического обеспечения полетов искусственных спутников Земли.- М., изд. стандартов, 1985, 44с.

СЕКЦИЯ 6

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

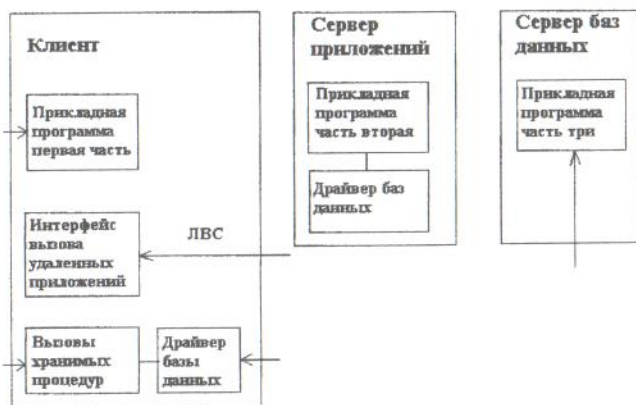
МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В АРХИТЕКТУРАХ КЛИЕНТ-СЕРВЕР И ИНТЕРНЕТ/ИНТРАНЕТ

Воронцов А.А., Белинских А.Л., Плотников В.А.

Центр океанографических данных Всероссийского научно-исследовательского института-Мирового центра данных (ЦОД ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск)

Современные ГИС представляют собой новый тип интегрированных информационных систем, предназначенных для обработки пространственно-временных данных. Эффективность применения ГИС для задач экологического мониторинга, гидрометеорологического обеспечения и др. объясняется возможностью решения проблемы отображения явлений в пространственно-временной динамике в различных масштабах. Сегодня для ГИС характерен активный переход от локального инструмента в Интернет-технологии. При создании распределенного доступа и обработки геоданных, в основном используются две базовые архитектуры: клиент-сервер и Интернет/интранет. В чем же преимущества и недостатки использования каждой из данных архитектур и когда их применение оправдано?

Архитектура Клиент-Сервер



Одной из самых распространенных на сегодня архитектур построения ГИС является **архитектура клиент-сервер**. Предлагаемая схема клиент-серверного варианта распределенной ГИС - это выполнение основных операций (обращение за информацией к картографической базе данных и к структурированной фактографической информации в таблицах SQL-сервера, связанной с графическим объектом; разного рода преобразования данных; формирование тематической карты и перевод этой карты в графический формат) на стороне сервера и отображение полученных данных на стороне клиента.

Преимущества этой технологии:

- Большой выбор приложений и инструментов разработки
 - Наличие большого опыта разработки и эксплуатации
 - Высокая степень автономности клиента
 - Распределенные приложения уменьшают нагрузку на сервер
 - Высокая степень защиты серверной части приложений
- Недостатки:

- Приложения должны быть распределенными и поддерживаться каждым из клиентов, что влечет за собой большие материальные и временные затраты
- Сложность настройки системы с большим количеством клиентов
- Чем сложнее архитектура сети, тем выше вероятность отказа её компонентов, что затрудняет локализацию и устранение неисправностей.

В реализованной по данной архитектуре информационной сети клиенту предоставлен широкий спектр приложений и инструментов разработки, которые ориентированы на максимальное использование вычислительных возможностей клиентских рабочих мест, используя ресурсы сервера в основном для хранения и обмена документами, а также для выхода во внешнюю среду. Для тех программных систем, которые имеют разделение на клиентскую и серверную части, применение данной архитектуры позволяет лучше защитить серверную часть приложений, при этом, предоставляя возможность приложениям либо непосредственно адресоваться к другим серверным приложениям, либо маршрутизировать запросы к ним. Средством (инструментарием) для реализации клиентских модулей для ОС Windows в данном случае является, как правило, язык Delphi.

Следует отметить, что при частом обращении клиента к серверу снижается производительность работы сети, кроме этого приходится решать вопросы безопасной работы в сети, так как приложения и данные распределены между различными клиентами. Распределенный характер построения системы обуславливает сложность ее настройки и сопровождения. Чем сложнее структура сети, построенной по архитектуре клиент-сервер, тем выше вероятность отказа любого из ее компонентов.

В последнее время все большее развитие получает **архитектура Интернет/интранет**. В основе реализации корпоративных информационных систем на базе данной архитектуры лежит принцип "открытой архитектуры", что во многом определяет независимость реализации корпоративной системы от конкретного производителя. Все программное обеспечение таких систем реализуется в

виде апплетов или сервлетов (программ написанных на языке Java) или в виде CGI-модулей (программ написанных, как правило, на Perl или C).

Основными преимуществами данной архитектуры являются:

относительно низкие затраты на внедрение и эксплуатацию;

высокая способность к интеграции существующих гетерогенных информационных ресурсов корпораций;

повышение уровня эффективности использования оборудования (сохранение инвестиций).

прикладные программные средства доступны с любого рабочего места, имеющего соответствующие права доступа;

минимальный состав программно-технических средств на клиентском рабочем месте (теоретически необходима лишь программа просмотра - стандартный браузер и общесистемное программное обеспечение);

минимальные затраты на настройку и сопровождение клиентских рабочих мест, что позволяет реализовывать системы с тысячами пользователей (причем многие из которых могут работать за удаленными терминалами).

Достоинства этой технологии:

Прикладные программы доступны с любого рабочего места

Стандартный интерфейс просмотра для всех пользователей

Администрирование только серверной части системы

Возможность использования менее мощных рабочих станций

Недостатки:

Слабый инструментарий для разработки протоколов Java, HTML, HTTP

Большие приложения требуют сетей передачи данных с большой скоростью передачи данных

Слабая защищенность данных, необходимость их шифрования из-за общедоступности сети

В общем случае ГИС, реализованная с использованием данной архитектуры включает Web-узлы с интерактивным информационным наполнением, реализованных при помощи технологий Java, JavaBeans и JavaScript, взаимодействующих с предметной базой данных, с одной стороны, и с клиентским местом с другой. База данных, в свою очередь, является источником информации для интерактивных приложений реального времени.

Как было отмечено выше, выбор конкретной архитектуры построения информационной системы включает два основных компонента: выбор серверной платформы (выбор серверной ОС и СУБД) и выбор платформ для клиентских рабочих мест. В данном разделе более подробно остановимся на особенностях выбора конкретной СУБД. При выборе базы данных очень важно выбрать базу данных, которая в наибольшей степени соответствуют предъявляемым к информационной системе требованиям, т.е. необходимо определиться какая модель автоматизации реализуется (автоматизация документооборота или бизнес-процессов). В первую очередь при выборе СУБД необходимо принимать во внимание следующие факторы:

максимальное число пользователей одновременно обращающихся к базе;

характеристики клиентского ПО;

аппаратные компоненты сервера;

серверную операционную систему;

уровень квалификации персонала.

Разрабатываемая в настоящее время в рамках Федеральной целевой программы "Мировой океан" информационная система об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) требует апробации тех или иных программно-технологических решений как в общих, так и в частных вопросах. Информационно-технологический модуль распределенного доступа и обработки данных (ИТМРД) - это один из таких вопросов. И это, в первую очередь, связано с тем, что в информационной системе процессы, связанные с управлением и переработкой данных, занимают, пожалуй, главенствующее положение. Тем более, что в гидрометеорологии приходится иметь дело с большими объемами информации. В качестве решения по ИТМРД была выбрана его реализация в архитектуре клиент/сервер, что, в первую очередь, обеспечивает надежность хранения и регламентированный доступ к информации, а также оптимизацию распределения вычислительной нагрузки между сервером и клиентом в многопользовательском режиме работы, в том числе удаленных пользователей.

Из ряда технологий была выбрана технология фирмы Epsilon Technologies (достаточно детальная информация о технологиях этой российской фирмы представлена на сайте <http://www.demo.ru>). Информационно-технологический модуль доступа и представления информации во время проведения Черноморского эксперимента 2000 г. выполнен в виде набора программных приложений на Web Application Server Baikonur. Из технологической части, помимо применения сервера приложений Baikonur, использовалась методика быстрой сборки функциональности серверной части при помощи визуального и не визуального компонентного проектирования.

Такая технология позволяет быстро разрабатывать сложные Интернет-проекты и значительно расширить применение интранет в корпоративных сетях. Следует отметить, что технологии Baikonur предоставляют все, что требуется для реализации промышленного Интернет/интранет-проекта - надежный сервер, быструю разработку приложений, скоростной и универсальный доступ к данным, средства интеграции с другими сетевыми технологиями и продуктами.

При разработке ИТМРД использовались не все возможности технологии, а только отдельная ее часть (быстрая разработка приложений, установление связей с серверами баз данных, динамическое формирование пользовательских Web-страниц и передача выходной продукции пользователям в Web браузер). Выходная продукция эксперимента предоставляется в двух видах: WEB-страницы и отдельные сохраняемые файлы.

ИТМРД состоит из основной программной оболочки, интегрирующей отдельные приложения (общее управление осуществляет Web App Server Baikonur), и специальных приложений для получения данных от серверов БД, производства расчетов, формирования графиков и построения динамических HTML-страниц.

Функциональность приложений:

Формирование фрагмента БД: связь в СУБД, выбор данных по заданным критериям, добавление метаданных, преобразование в файл и пересылка по адресу или сохранение для дальнейшей обработки.

Расчет среднесуточных, декадных и среднemesячных характеристик: вызов модуля обработки, преобразование в табличный вид, сохранение в заданном виде для построения графиков и преобразование в HTML.

Визуализация картографической продукции: выбор файла и преобразование в HTML.

Построение и визуализация графиков: выбор климатических данных, выбор текущих данных, построение графика $x_1, x_2(t)$ и преобразование в HTML.

Формирование и визуализация таблиц: выбор данных по критериям, выбор по таблицам соответствия заголовков, формирование таблиц и их преобразование в HTML.

Управление данными при работе модуля основано на использовании таблиц связей. В основу положены связи отдельно взятого объекта. Таким образом, базовая таблица – это таблица связей объектов, в которой используются следующие параметры: наименование объекта, его уникальный идентификатор ID_ob, тип объекта, пространственно-временные координаты, маршрутизация (адрес) объекта (URL, IP-адрес и др.). Следующая таблица – это таблица связи параметров, в которую входят наименование параметра, его уникальный идентификатор ID_par, характеристики параметра, пространственно-временные координаты, маршрутизация (адрес) объекта (URL, IP-адрес и др.), имя БД, имя таблицы хранения, имя поля в таблице хранения. Таблицы для своей работы используют стандартизованные словари параметров.

Доступ к данным осуществляется с использованием структурированного меню. Для примера приведем его фрагмент:

- Данные (получение оперативных и режимных данных)
- Погода на морских курортах Северного Кавказа
- Гидрометусловия в районе эксперимента
- Оперативные данные
- Климатические данные
- Температура воды
- График среднесуточного хода температура воды по прибрежным станциям
- Таблица средних и экстремальных характеристик по прилегающей акватории
- Карта распределения температуры поверхности воды по прилегающей акватории

По ссылке на главной странице сайта ЕСИМО идет переход в стартовую страницу (<http://www.oceaninfo.ru/esimotest.htm>) приложений Web App Server Vaikonur, далее - на основную рабочую страницу, на которой располагаются сгруппированные списки с критериями выборки (точки наблюдений, параметры, вид продукции) и карта района эксперимента. По графу критериев выборки

осуществляется загрузка отдельного приложения, работающего на сервере приложений. Собственно говоря, основная рабочая страница позволяет осуществить доступ к отдельно взятому объекту. Навигация выполняется по структурному дереву при помощи отдельно работающего приложения. В настоящее время применяется максимум пять уровней вложенности. Вся выходная продукция, за исключением непосредственно данных, загружается на WEB-страницу. Ниже на рисунке показан пример представления выходной продукции (текстовые описания, карта, таблица).

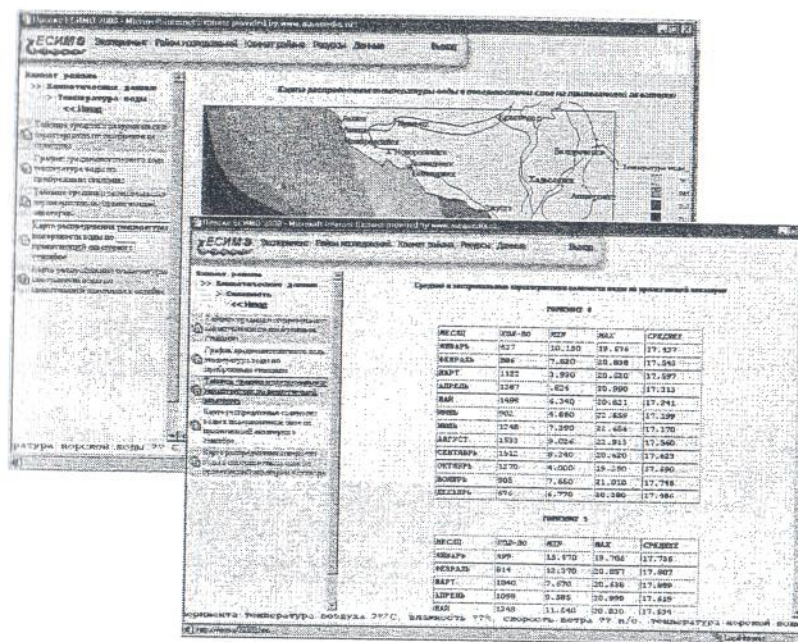


Рис. Выходная продукция технологии: карта температуры воды и таблицы статистических характеристик солёности

Данные записываются в выделенную поддиректорию и выгружаются в виде ASCII-файла стандартным способом. Укажем также, что данные, использованные для работы модуля, размещены на двух серверах БД и во внутренней БД Web App Server Vaikonur. Один сервер использовался для загрузки метаданных и расчетных данных (по ранее накопленным историческим данным проведены расчеты среднесуточных среднemesячных значений для ГМС Новороссийск, Сочи, Туапсе и Геленджик для температуры воды и воздуха, скорости ветра, атмосферного давления, уровня, солёности воды и характеристик волнения) в специально разработанные таблицы, другой - применялся для загрузки опера-

тивных гидрометданных (информация в кодах TESAK, SYNOF, BUOY и KH-02). Внутренняя база данных была создана для разного рода электронных карт и их трансформаций в форматы графических файлов; для хранения сеточных данных по температуре поверхности моря, полученные по материалам спутниковых съемок и др.

Практическое использование двух видов архитектур, двух различных подходов показало, что на сегодняшний день наиболее оптимально использование не отдельно взятой конкретной технологии или архитектуры, а их интегрированной совокупности. Более того, создание современных информационных систем с применением новых информационных технологий (ГИС, СУБД, Интернет/интранет и др.) должно обеспечивать применение разных вариантов (в "чистом" виде или смешанных) для того или иного раздела системы. Развитие информационных технологий идет по пути сращивания отдельных элементов и перерастания частных задач в крупные проектные решения (для примера укажем современную тенденцию развития серверов приложений для крупных информационных систем).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И СНИЖЕНИЯ АЭРОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДЛЯ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ

С.Я.Герценштейн*, К.В.Показев**, А.Н.Сухоруков*

*Институт Механики МГУ, **Физический факультет МГУ, Москва

В работе исследуется явление "жесткого" возбуждения возмущений и влияние этого явления на развитие струйных течений. Проводится численное моделирование аэроакустического воздействия на затопленную струю за счет включения различного вида возмущений.

1. Изучается неустойчивость осесимметричного вязкого струйного течения, помещенного для упрощения граничных условий в круглую трубу [1]. Обнаружена область "жесткого" возбуждения трехмерных конечно-амплитудных возмущений. Подробно исследованы характеристики полученных нелинейных решений. Установлена возможность возникновения турбулентных режимов течения.

Уравнения Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\nabla p + \frac{1}{\text{Re}} \Delta \mathbf{V} + \mathbf{F}, \quad \nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (1)$$

Решаются в цилиндрической области

$$0 \leq r < 1, \quad 0 \leq \theta < 2\pi.$$

Здесь $\mathbf{V} = \{u, v, w\}$ – вектор скорости, p – давление.

Число Рейнольдса Re вычисляется по скорости на оси трубы и по радиусу трубы. Массовая сила \mathbf{F} поддерживает в невозмущенном движении струйное течение с профилем скорости вида

$$u_0 = \frac{\exp(-ar^2) - \exp(-a)}{1 - \exp(-a)} \quad (2)$$

Здесь a – параметр, характеризующий ширину струи. Выполняются стандартные условия прилипания на границе и периодичности вдоль оси x .

$$\mathbf{V}|_{r=1} = 0, \quad \mathbf{V}|_{x+2\pi\alpha} = \mathbf{V}|_x. \quad (3)$$

Приближенное решение ищется в виде ряда Фурье по переменным x и θ :

$$\mathbf{V}(t, x, r, \theta) = \sum_{|k| < K} \sum_{|n| < N} \mathbf{V}_{k,n}(t, r) \times \exp[i(k\alpha x + n\theta)] \quad (4)$$

По радиусу применяется конечно-разностная аппроксимация. Полученная система обыкновенных дифференциальных уравнений интегрируется по времени полуняевым методом III порядка точности, основанным на методе Рунге-Кутты [2].

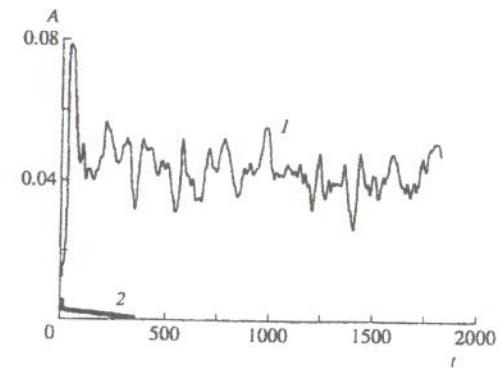


Рис. 1

Обнаружено, что нелинейное взаимодействие возмущений, включающее пару наклонных волн ($\alpha \pm \theta$) и стоячую поперечную волну (2 θ), может приводить к "жесткой" конечно-амплитудной неустойчивости. Рис. 1 – результаты расчетов при $Re=2000$, $\alpha=4$, $M=32$, $K=6$, $N=6$, $\alpha=8$ (M -число узлов по радиусу), показывающие зависимость осредненной по пространству амплитуды A возмущений от времени. Здесь

$$A(t) = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2},$$

$$A_i^2 = \frac{\alpha}{2\pi^2} \int_0^{\alpha} \int_0^{2\pi} \int_0^1 V_i^2 dxrd\theta dr;$$

$$\{u, v, w\} \equiv \{v_1, v_2, v_3\}.$$

Кривая 1 соответствует начальной амплитуде $A(0)=0.03$ (возмущения выходят на вторичный режим), а кривая 2 – $A(0)=0.01$ (возмущения затухают). При временах от 0 до 1 наблюдаются сильные градиенты $A(t)$, которые на графике не отражены. Распределение начальных амплитуд по радиусу и по гармоникам задавалось датчиком случайных чисел. Важно заметить, что образующийся вторичный режим – стохастический, спектр которого хорошо соответствует известным экспериментальным представлениям [3,4], (рис.5, кривая 1). Корреляционная функция данного режима резко затухает.

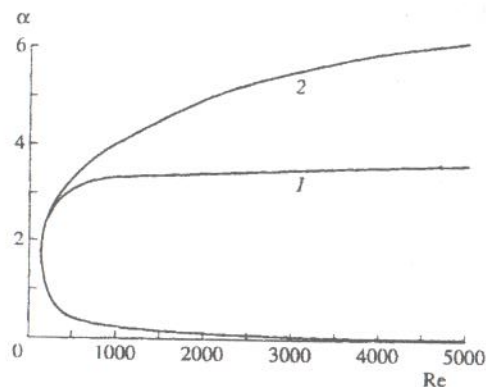


Рис. 2

Отметим, что параметры этого режима α и Re выбраны вне нейтральной кривой линейной теории устойчивости (рис.2, кривая 1). На той же рис.2 кривой

2 ограничена область существования "жестких" режимов, т.е. построена нелинейная нейтральная кривая.

Очень важно, что при малой степени надкритичности (например, при $Re=150$, $\alpha=1.8$) наблюдается вначале выход на стационарный режим (при $K=16$, $N=6$, $\alpha=8$; фиг.3, кривая 1), затем с увеличением числа Re образуются периодические по времени режимы (на фиг.3, кривая 2 при $Re=200$), а в дальнейшем формируются стохастические режимы (кривая 3 на фиг.3 при $Re=1000$).

Обнаружено также, что как стационарные, так и периодические режимы оказываются неустойчивыми по отношению к длинноволновым составляющим. Любопытно, что при этом образуются стохастические режимы. На рис. 3 кривая 4 соответствует расчету при $Re=150$, $\alpha=0.2$, $M=32$, $K=32$, $N=8$, $\alpha=8$ (кривые 3 и 4 соответствуют установившемуся режиму). Временной спектр рис. 5 (кривые 2,3).

Пространственный спектр данного режима представлен на рис.4. По оси абсцисс отложен номер гармоники по x , а по оси ординат – осредненный по времени квадрат интегральной амплитуды гармоники при фиксированном расстоянии от центра. ($A_k^2 = \sum_{n=1}^N |u^{k,n}|^2$, амплитуды для v и w в несколько раз меньше и аналогично распределены). Кривая 1 – в районе точки перегиба, при $r=3/8$; кривая 2 – вблизи оси $r=1/8$; кривая 3 – вблизи стенки $r=7/8$.

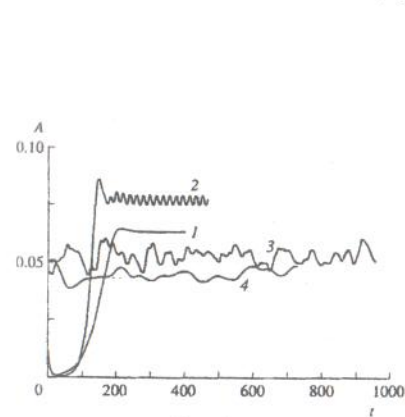


Рис. 3

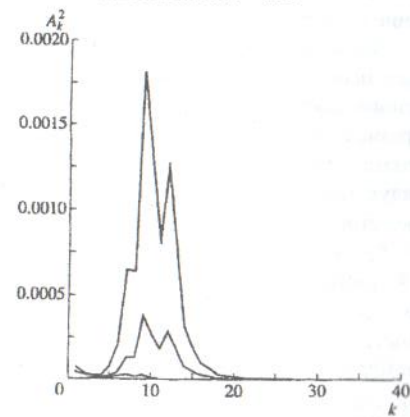


Рис. 4

Интересно, что во всех случаях в пространственном спектре наблюдается выделение трех несоизмеримых частот.

Заметим, что в рассмотренном диапазоне параметров спектр по угловой составляющей резко спадает: вторая гармоника на порядок меньше первой, а остальные в несколько раз меньше второй. В работе проведен также ряд расчетов методического характера, которые показали правомерность выбора заданного в

работе набора значений параметров M , N , K , а также стабилизирующее воздействие стенки, особенно в области коротких волн.

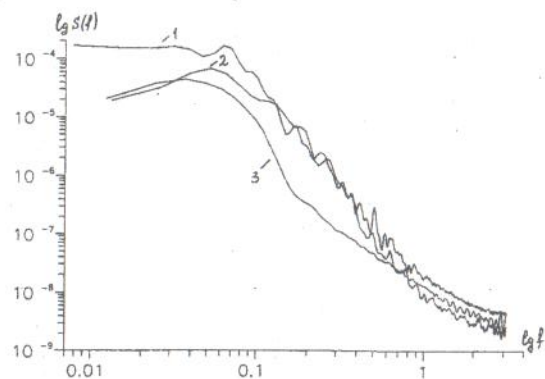


Рис. 5

2. Вопрос о влиянии возмущений на струйные течения изучался нами также в рамках модели идеальной несжимаемой жидкости. По поперечной координате применялся модифицированный метод Релея, по двум другим координатам решение представлялось в виде ряда Фурье [5].

Значительный интерес представляет моделирование явлений, связанных с известными эффектами стабилизации струйных течений с помощью высокочастотного акустического воздействия. В соответствии с [11] рассматривался П-образный симметричный профиль скорости ($U(-y)=U(y)$) с относительно узкими слоями смешения на границе струйного потока. Профиль аппроксимировался следующей ломаной: точки излома задавались при $y=y_i=3,5; 3; 2,7; 2,3; 2; 0$, соответственно $U(y_i)=0; 0; 0,2; 0,81; 1,1$.

Проведены следующие варианты расчетов (табл.1.). Сравнение вариантов 2 и 3 показывает практически полное совпадение результатов, полученных по двух- и одномасштабной методикам, примененным к одному и тому же случаю. Узость слоев смешения (относительно центральной части струи) приводит к примерно одинаковому нарастанию основного тона $\alpha=1,5$ при свободном развитии, как для симметричного, так и для антисимметричного случая.

Обнаружено также существенное ускорение процесса сглаживания осредненного профиля скорости и значительно менее интенсивное развитие основного тона при введении определенных коротковолновых возмущений (сопоставление вариантов 1 и 2). Вместе с тем введение более мелкомасштабных (нейтрально устойчивых по линейной теории) возмущений оказывается значительно менее эффективным (варианты 4, 5).

Таблица 1

Вариант	α	γ	N_1	N_2	n	k	$A_{inkm}(0)$	Симметрия
1	0,5	0	8	0	1-8	0	10^{-6}	с
2	0,5	0	8	0	4 $n \neq 4$	0 $k \neq 0$	10^{-2} 10^{-6}	с
3	0,5	0	2	2	0 $n \neq 0$	1 $k \neq 1$	10^{-2} 10^{-6}	с
4	0,5	0	8	0	8 $n \neq 8$	0 $k \neq 0$	10^{-2} 10^{-6}	с
5	0,5	0	8	0	6 $n \neq 8$	0 $k \neq 0$	10^{-2} 10^{-6}	с
6	0,5	0	8	0	4 $n \neq 4$	0 $k \neq 0$	10^{-1} 10^{-6}	с
7	0,5	0	8	0	5 $n \neq 5$	0 $k \neq 0$	10^{-2} 10^{-6}	ас
8	0,33	2,5	3	1	0 $n \neq 0$	1 $k \neq 1$	10^{-2} 10^{-6}	ас
9	0,5	0	8	0	1-8	0	10^{-6}	ас
10	0,5	0	8	0	4 $n \neq 0$	0 $k \neq 1$	10^{-2} 10^{-6}	ас

Интересно, что симметричная четвертая гармоника подавляет основную антисимметричную моду в гораздо большей степени по сравнению с основной симметричной модой (варианты 2 и 10). Тем самым при наличии внешнего акустического воздействия преимущественной может оказаться симметричная мода [3].

Обнаруженный эффект подавления основного тона коротковолновыми возмущениями заметно усиливается с увеличением начальной амплитуды короткой волны (варианты 2, 6) В эксперименте, однако, существует некоторое "пороговое" значение этой амплитуды, при котором эффект подавления максимален.

Эффект подавления основного тона коротковолновыми возмущениями определенного диапазона вкратце может быть объяснен следующим образом. Задание коротковолнового возмущения в соответствии с толщиной узкого слоя смешения на границе струи приводит к резкому нарастанию этого возмущения, к интенсивному сглаживанию профиля скорости осредненного течения и, как следствие, к существенному подавлению основного тона на начальной стадии его развития.

Существование корреляции длины волны высокочастотного возмущения и толщины слоя смешения в струе подтверждается, с одной стороны, экспериментами, из которых следует отсутствие эффекта подавления турбулентности на основном участке струи, а с другой - результатами расчетов, приведенных выше. Отметим, что в полном соответствии с экспериментом [3] влияние коротко-

волнового воздействия существенно сказывается лишь на начальной стадии нелинейного развития: характерное время выхода на развитой режим увеличивается примерно вдвое, но сами конечные амплитуды основного тона меняются незначительно.

В заключение подчеркнем, что обнаружение нового механизма неустойчивости рассматриваемых свободных сдвиговых течений (струи, следы, слои смешения), связанного с «жесткой» конечно-амплитудной неустойчивостью по отношению к трехмерным возмущениям резонансного типа («разностный» резонанс) имеет принципиальное значение. Во-первых, меняется сценарий возникновения турбулентности [6] и выявляется некий общий механизм неустойчивости, характерный для сдвиговых как свободных, так и пристенных течений. Во-вторых, соответственно изменяется механика взаимодействия различных спектральных составляющих, методы борьбы с аэродинамическим шумом и методы управления неустойчивостью струй. Причем, это относится как к ламинарным, так и к турбулентным струйным свободным течениям, так как в основу исследования турбулентных потоков можно положить рассмотрение когерентных турбулентных структур в рамках обычных нелинейных методов теории гидродинамической устойчивости [7]. Эти структуры могут быть уточнены с помощью цепочки моментных уравнений, построенной в рамках уравнений Навье-Стокса для отклонения от них.

Заметим, что сами когерентные структуры могут быть получены как численно [1], так и аналитически [8], например, с помощью метода Стюарта-Ватсона или метода Ляпунова-Шмидта.

Литература

1. Герценштейн С.Я., Сухоруков А.Н. О жестком возбуждении трехмерных конечно-амплитудных режимов в струйных течениях. ДАН РАН, 1998, т. 359, № 5, С. 629-631.
2. Никитин Н.В. ЖВМиМФ., 1994., Т.34., № 6, С.909-925.
3. Гиневский А.С., Власов Е.В., Колесников А.В. Аэроакустические взаимодействия. М.: Машиностроение, 1978, 177 с.
4. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. М.: Физматгиз, 1960.
5. Герценштейн С.Я., Олару И.И., Рудницкий А.Я., Сухоруков А.Н. О развитии конечно-амплитудных двумерных и трехмерных возмущений в струйных течениях // Изв. АН СССР, МЖГ, 1985, № 5, С. 8-19.
6. Павельев А.А. В сб.: Турбулентные течения. М.: Наука, 1974, С.185-194.
7. Латышев А.В., Павельев А.А., Орданович А.Е. О моделировании упорядоченных структур в открытых турбулентных потоках. МЖГ, № 4, 1981, С.46-52.
8. Герценштейн С.Я., Жукова А.В. О жесткой трехмерной неустойчивости слоев смешения и струйных течений. Материалы международной школы-семинара «Нелинейные задачи теории гидродинамической устойчивости и турбулентность». М., Изд-во МГУ, 2000, 57 с.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПОДХОДОВ К НОРМИРОВАНИЮ УРОВНЯ ШУМА НА РАБОЧИХ МЕСТАХ И В ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА НИЗКИХ И ИНФРАЗВУКОВЫХ ЧАСТОТАХ

Гончаренко Б.И., Гордиенко В.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

Шумовое загрязнение окружающей среды становится всё более значительным фактором в общей экологической обстановке больших и малых городов. Существуют санитарные нормы, которые устанавливают классификацию, нормируют параметры и предельно допустимые уровни инфразвука на рабочих местах, а также допустимые уровни инфразвука в жилых и общественных помещениях и территории жилой застройки [1].

В настоящее время, в соответствии с действующими санитарными нормами, нормируемым параметром постоянного шума на рабочих местах и в помещениях жилых и общественных зданий во всем диапазоне звуковых частот (включая низкие частоты и инфразвук) являются уровни **звукового давления**, измеренные в октавных или 1/3-октавных частотных полосах или интегральной интенсивности **по звуковому давлению** в исследуемом частотном диапазоне. Однако использование звукового давления в качестве нормируемого параметра в области низких и инфразвуковых частот вряд ли может быть признано в полной мере объективным.

Данные о физиологическом действии инфразвука противоречивы, однако в настоящее время считается установленным [2]:

Инфразвук является вредным фактором производственной среды. При действии инфразвуковых колебаний возможны изменения со стороны нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной, эндокринной и других систем организма, при этом инфразвук высокого уровня может приводить к смертельным исходам.

Влияние низкочастотного звука связано с возбуждением колебаний отдельных частей тела, и в особенности резонансами внутренних органов. Для человека выделено три существенных резонанса на частотах 5, 10 и 15 Гц. Некоторые характерные резонансные частоты органов человека в низкочастотном диапазоне приведены в табл. 1.

Таблица 1. Некоторые резонансные частоты органов человека

Орган	Частота, Гц
Голова	30
Грудная клетка	60
Позвоночный столб	8
Брюшная полость	4 – 8
Газ	4 – 6

3. Реакция колебательной системы организма на акустические воздействия определяется не обязательно только уровнем звукового давления. Как известно, акустическая волна наряду со звуковым давлением характеризуется колебательной скоростью частиц среды, возникающей под действием градиента звукового давления и амплитудой их смещения из равновесного состояния. У довольно значительного числа биологических объектов (включая человека) величиной этих параметров в ряде случаев определяется и амплитуда вынужденных колебаний внутренних органов.

4. Связь между давлением и колебательной скоростью не является однозначной, особенно в низкочастотном диапазоне, когда длина возбуждаемой волны велика.

5. Особое место занимает измерение уровня низкочастотных шумов аэро- или гидродинамического происхождения (шум в узком участке тоннеля метрополитена при движении по нему поезда, шум реактивных и винтовых двигателей и т.д.). В этом случае приборы и инструменты, реагирующие на градиент давления или колебательную скорость, будут испытывать воздействие на 20...40 дБ больше, чем по уровню звукового давления в волне.

6. Укажем также на возможность возникновения в трубах, тоннелях, салонах автомобилей и других замкнутых помещениях стоячих или близких к ним инфразвуковых волн. В этом случае сильное воздействие на организм и приборы может происходить и в области пространства, в которой измеренное значение давления близко к нулю, так как в этих областях обычно наблюдается пучность градиента звукового давления или колебательной скорости.

На рис. 1 в качестве иллюстрации приведен характерный низкочастотный спектр вибраций поезда метро.

Локализация источников инфразвука и определение их истинного уровня представляет трудную методическую задачу. И здесь одновременное измерение скалярных и векторных характеристик поля является мощным практически единственным подходом к проблеме.

В последнее время возник значительный интерес к воздействию на окружающую среду шумового (акустического) загрязнения, генерируемого проходящими транспортными средствами. Из трёх основных видов транспортных средств (автомобильного, воздушного и рельсового) в городских условиях наиболее неблагоприятное акустическое загрязнение оказывает рельсовый транспорт такой, например, как трамвай.

Величина создаваемого трамваем шума зависит от многих причин, в том числе от конструкции вагонов и пути, а также от состояния колес и рельсов.

На рис. 1 в качестве примера приведены уровни внешнего шума по звуковому давлению трамвая.

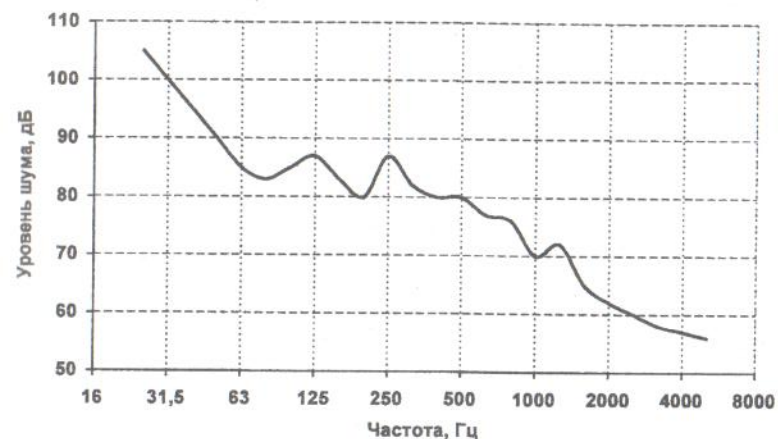


Рис. 1. Уровни по звуковому давлению внешнего шума трамвая, движущегося на перегоне со скоростью 40 км/ч, определенные в 1/3-октавных полосах [4].

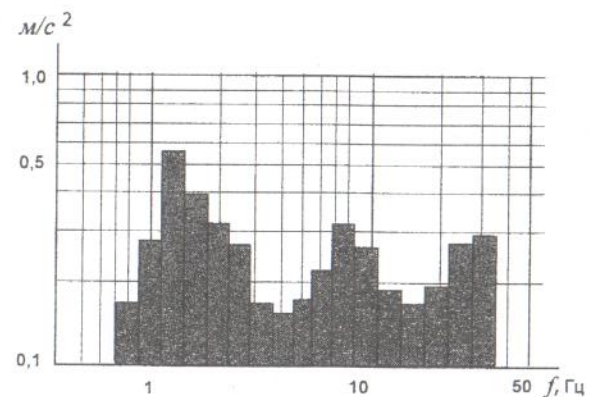


Рис. 2. Характерный спектр вибраций поезда метро при скорости около 60 км/час

Как следует из приведенных данных, величина внешнего шума, создаваемого движущимся трамваем, возрастает по мере уменьшения частоты и в области низких звуковых частот достигает значительных величин (~105 дБ).

Нами были проведены исследования векторно-фазовой структуры [3] поля шумов и вибраций, порождаемых проходящим трамваем внутри и около одного из учебных корпусов Московского энергетического института на Красноказарменной улице.

При исследовании поля шумов и вибраций нами использовался метод, основанный на одновременном измерении звукового давления и проекций его градиента на три взаимно ортогональные направления в пространстве.

Регистрирующая система (комбинированный приемный модуль, или КПМ) включала в себя микрофон (приемник звукового давления) и трехкомпонентный векторный приемник (ВП) конструкции МГУ [5]. Приемник звукового давления имел сферическую диаграмму направленности и равномерную частотную характеристику в диапазоне частот $2 \text{ Гц} \div 20 \text{ кГц}$. Приемником градиента давления служил трёхкомпонентный векторный приёмник диаметром 200 мм, позволяющий в зависимости от способа подвески и последующей обработки либо измерять проекции уровней колебательной скорости и градиента звукового давления в волне на три взаимно ортогональных направления в пространстве, либо использовать его как сейсмодатчик для регистрации уровня вибраций.

При измерениях в воздухе приемник звукового давления и ВП были упруго подвешены на специальном каркасе. Частота резонанса упругой подвески звукоприёмников была меньше 2 Гц.

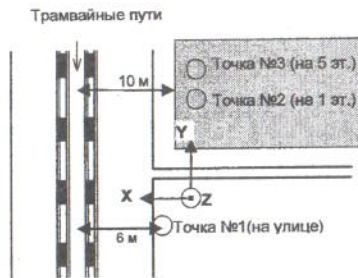


Рис.3. Геометрия проведения измерений уровня шума в здании, расположенном вблизи трамвайной линии

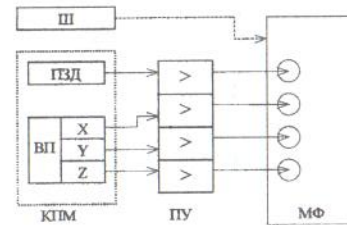


Рис.4. Блок-схема экспериментальной установки

Блок-схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. С КПМ сигнал подавался на четырёхканальный предусилитель (ПУ) с $K_{yc} \cong 100$ и далее на многоканальный магнитофон (МФ). Для контроля измерений уровня звукового давления использовался шумомер (Ш), сигнал с которого также записывался на магнитофон.

Измерения проводились в трёх точках, расположение которых приведено на рис.4.

Точка 1 располагалась на тротуаре на расстоянии 6 м от трамвайных путей. При измерениях поля шумов высота КПМ над землей составляла около 70 см,

при измерениях вибрации ВП жёстко связывался с грунтом. В радиусе 30 м от точки 1 не было никаких отражающих звук поверхностей.

Точка 2 находилась на первом этаже здания, расположенного на расстоянии 10 м от трамвайных путей, в рабочем кабинете размерами $6 \times 8 \times 3,2 \text{ м}^3$ с большим количеством перегородок и звукопоглощающих поверхностей.

Точка 3 находилась на пятом этаже того же здания на высоте около 15 м над землей в пустой учебной аудитории размерами $13 \times 7 \times 3,2 \text{ м}^3$. В обоих помещениях КПМ располагался на высоте 1,5 м от пола. При измерении вибраций ВП жёстко связывался с подоконником. Ориентация каналов ВП показана на рис.4 (ось Z направлена вверх). Максимальный уровень шумового сигнала от проходящего трамвая превышал уровень квазистационарного шума транспортного потока в среднем на 15–20 дБ.

Используемое оборудование и методика проведения измерений позволяли получать спектры величин звукового давления, компонент колебательной скорости частиц среды и виброускорений в частотном диапазоне от 4 до 1000 Гц. За 0 дБ были приняты: для звукового давления – $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$; для виброускорения – $a_0 = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$.

Дальнейшая обработка велась при помощи системы MATLAB[®] Ver.5.2.0.3084.

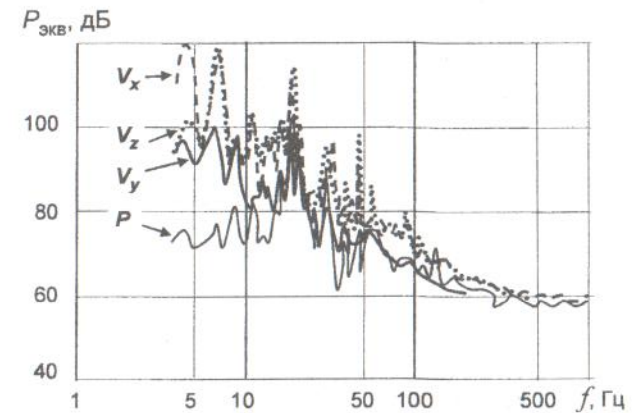


Рис.5. Частотная зависимость уровней шума, измеренных в точке 3

На рис.5 в качестве примера представлены экспериментальные данные частотной зависимости уровней шума, измеренные в точке 3 (на 5 этаже). Здесь и далее V_x , V_y , V_z – уровни проекций колебательной скорости на направления X, Y и Z соответственно, P – уровень звукового давления. Аналогичные частотные зависимости были получены также в точках 1 и 2.

Как следует из приведенных на рис.5 данных, в диапазоне частот выше 100 Гц характер изменения амплитудно-частотных характеристик КС и звукового давления одинаков: спектр не имеет выраженных экстремумов и равномерно убывает с возрастанием частоты, а сами уровни не имеют существенных различий.

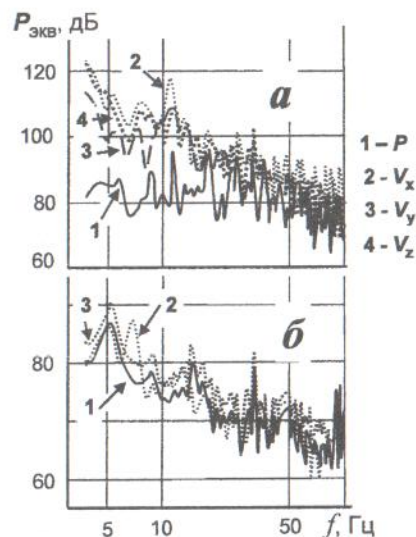


Рис.6. Сопоставление уровней шума от проходящего трамвая, зарегистрированных на различных этажах здания: а) 5-й этаж; б) 1-й этаж

Это свидетельствует о том, что в диапазоне частот выше 100 Гц шумовое поле является диффузным и шум проникает в здание в основном через окна (по воздуху). Учитывая отмеченные особенности, в дальнейшем ограничимся только анализом составляющих поля в диапазоне частот 4...100 Гц.

На рисунках 6 и 7 представлены спектральные уровни давления и составляющих КС, зарегистрированных на 1-м, 5-м этажах здания и на улице. На рисунке 8 представлены сравнительные спектральные уровни вертикальной составляющей колебательной скорости.

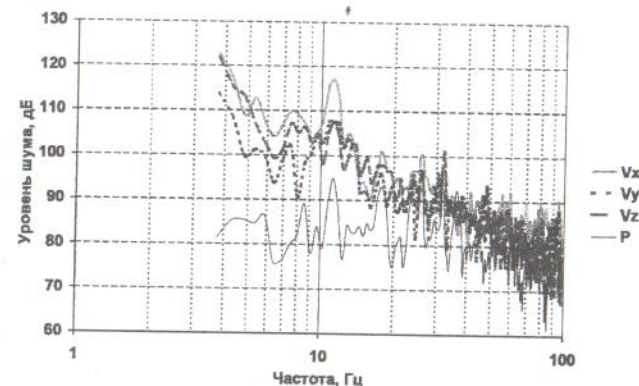


Рис.7. Уровни шума, измеренные на улице

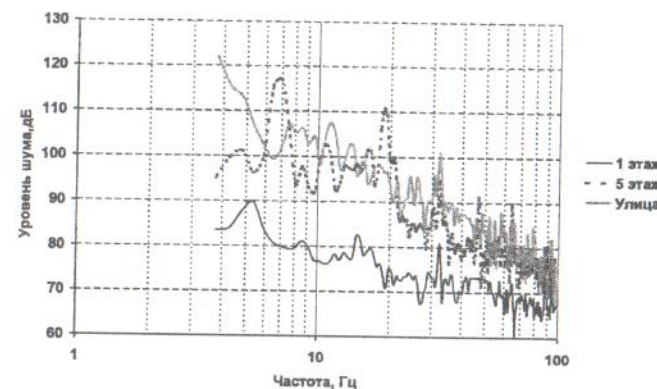


Рис.8. Сравнительные уровни шума от проходящего трамвая для вертикального компонента КС V_z

Из приведенных экспериментальных данных видно, что в рассматриваемом диапазоне частот во всех измеренных точках уровни КС по всем компонентам превосходят уровень звукового давления. В диапазоне частот ниже 20 Гц превышение составляет 15 – 30 дБ.

Кроме того, частотные зависимости уровня звукового давления и составляющих КС в каждой точке измерения имеют сложный характер. В данной работе не ставится цель подробного анализа частотной зависимости уровней звукового давления составляющих КС. Однако для получения представления о причинах проникновения и характере распространения шума в этих помещени-

ях, отметим некоторые особенности формирования поля шумов и вибраций в исследуемых помещениях. Так уровни КС на 5-м этаже здания во всем диапазоне частот превышают соответствующие уровни КС на 1 этаже, при этом в области частот ниже 40 Гц на 5-м этаже они на 15-30 дБ превышают соответствующие уровни давления. Это свидетельствует о том, что проникновение шума на 5 этаж происходит не только через окно, но и посредством излучения звука полом и фасадной стеной здания. Помимо этого, из данных узкополосного спектрального анализа (рис.6) следует, что на 5 этаже возникают колебания на собственных (19 и 46 Гц) частотах помещения как замкнутого объема с жесткими стенками. Здесь же наблюдаются также максимумы на частотах 6,5; 18,5; 32; 46; 57; 64; ... Гц. Этот ряд представляет собой нечетные гармоники начальной частоты $f_0 \approx 6,5$ Гц. Как показали оценочные расчеты, частота $f_0 = 6,5$ Гц является собственной частотой данного помещения, если его представить в виде объемного резонатора.

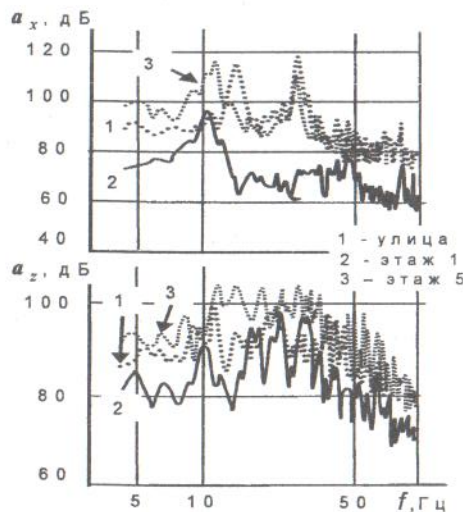


Рис.9. Сводные спектры виброускорений, зарегистрированных в различных точках при прохождении трамвая

Спектры давления и КС, измеренные на улице, представляют собой спектр белого шума с одним заметным максимумом на частоте 11 Гц, который принадлежит шуму, излучаемому трамваем. Максимумы на частоте 11 Гц наблюдаются также и в спектрах V_z и V_x , измеренных на 5 этаже, что свидетельствует о проникновении шума в это помещение с улицы.

С позиций уточнения приведенных выше особенностей распространения шума представляет интерес еще одна векторная характеристика акустического поля – поток акустической энергии \mathbf{W} . Эта величина, в общем случае, является комплексной. Действительная ее часть характеризует энергию распространяющейся (бегущей) волны, а мнимая – стоячей.

Оказалось, что уровни действительных частей W_x и W_z на 5 этаже, характеризующие величину структурного шума, достигают значительной величины (~ 110 дБ), тогда как аналогичные уровни на 1 этаже не превышают 85 дБ. Мнимая составляющая потока акустической энергии на собственных частотах здания, как правило, на 10–15 дБ больше действительной.

На спектрах действительной и мнимой составляющих потока акустической энергии, полученных на улице, действительная часть спектра имеет вид белого шума с единственным максимумом на частоте 11 Гц. Уровень мнимой части спектра на 8–10 дБ ниже, чем уровень действительной, т.е. на улице стоячих волн не возникало.

На рис.9 представлены сводные частотные характеристики горизонтальной a_x и вертикальной a_z составляющих виброускорения для различных точек измерения в частотной области 4–100 Гц, хорошо согласующиеся с предложенным механизмом возбуждения шума в здании.

Таким образом, задача нормирования низкочастотных и инфразвуковых уровней шума должна сводиться не только к измерению уровня звукового давления, а должна включать комплексные измерения векторно-фазовой структуры шумового поля включая измерения уровней градиентов звукового давления или составляющих колебательной скорости с последующим анализом потоков акустической энергии.

Литература

1. Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.583-
2. Шум на транспорте. Под ред. Нельсона П. // М.: Транспорт, 1995., 368 с.
3. Гордиенко В.А., Захаров Л.Н., Ильичев В.И. Векторно-фазовые методы в акустике. М.: Наука, 1989. 289 с.
4. Гордиенко В.А., Гончаренко Б.И. Особенности метрологического обеспечения измерения уровней инфразвука // Вестник МГУ Сер.3. Физика, Астрономия. 1998. № 4. С.66-72.
5. Гончаренко Б.И., Гордиенко В.А., Рожков В.А. Векторный приемник МГУ. Патент РФ № 322.884, 1996.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КСЕНОБИОТИКОВ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ В ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Козлова Г.В.

Московский государственный университет прикладной биотехнологии

Антропогенное вмешательство в окружающую среду привело к резкому ухудшению экологической ситуации во всем мире, и в связи с этим обусловило загрязненность пищевой продукции (продовольственного сырья, пищевых продуктов, этилового спирта и алкогольной продукции) токсичными веществами. Попадающие в экосистему ядовитые и вредные вещества не исчезают бесследно даже спустя долгие годы. Человек разрушает механизмы функционирования биосферы в планетном масштабе. С одной стороны, нарастают объемы отходов различных производств, с другой – они не могут быть вовлечены в круговорот, так как не известны природе и не разлагаются редуцентами. Токсические вещества передаются по пищевым цепям и сетям, свойственным живым организмам. В отдельных звеньях пищевой цепи может увеличиваться накопление токсических веществ, если они вовремя не разлагаются и не выводятся из организма. Например, концентрация яда, допустимая для жизнедеятельности рыбы, в организме хищной птицы, съевшей не одну такую рыбу, вырастает настолько, что птица гибнет или перестает размножаться. Такой же пример можно привести и для человека, как составного элемента экосистемы, ведь с пищей растительного и животного происхождения в организм человека попадет из окружающей среды до 70% токсинов различной этиологии /1/. С развитием новых пищевых производств, микробиологических подходов в производстве продуктов питания на фоне глобального загрязнения окружающей среды появилась необходимость создания международного законодательства, ужесточающего требования к безопасности пищевых продуктов. Эти требования регламентированы в законодательных актах специальной комиссии Кодекс Алиментариус (Codex Alimentarius), представляющей собой межправительственный орган, который включает более 120 государств-членов. Можно сказать, что обеспечение безопасности и качества пищевой продукции является одной из основных задач современного человеческого общества, определяющих здоровье населения и сохранение его генофонда. В нашей стране для решения этой важнейшей задачи в 1998 году была подготовлена Концепция государственной политики в области здорового питания населения России на период до 2005 года. В настоящее время в России наблюдаются ухудшение демографической ситуации из-за превышения смертности населения над рождаемостью, в том числе и в результате роста числа заболеваний, вызванных неудовлетворительным питанием; нарушение сбалансированности питания россиян; увеличение потребления некачественных, фальсифицированных и опасных для здоровья продуктов. Для реализации Концепции создается комплексная система мониторинга состояния здоровья населения.

Мониторинг состояния здоровья состоит из системы социального мониторинга России /2/ и гигиенического мониторинга. Для эффективности реализации вышеупомянутой Концепции дополнена законами прямого действия «О продовольственной безопасности Российской Федерации» (1998 г.) и «О качестве и безопасности пищевых производств» (2000 г.). Анализ результатов осуществляемых Минздравом и Госкомсанэпиднадзором России мониторингов приводит к выводам о том, что приоритетными факторами, влияющими на состояние здоровья населения России, являются, во-первых, нарушение пищевого статуса (пищевой статус человека – степень обеспеченности организма энергией и основными пищевыми веществами) и, во-вторых, загрязненность окружающей среды. Сохраняющаяся в России неудовлетворительная санитарно-эпидемиологическая обстановка и прогноз ее развития на ближайшие годы /3,4/ определяют обеспечение структуры, безопасности и качества питания как важнейшую стратегическую задачу государства на современном этапе развития России.

Проблема качества, пищевой ценности и безопасности пищевой продукции включает в себя не только разработку нормативной документации, но и методов контроля. В настоящее время применяются различные методы контроля: химические, химико-аналитические, микробиологические, физико-химические, физические. В ряде случаев существующие методы анализа качества пищевых продуктов оказываются недостаточно эффективными, принимая во внимание их трудоемкость, использование множества химических реактивов, горючего газа, малую оперативность и невозможность одновременного определения широкого спектра возможных включений. Отдельно следует сказать о трудоемкости методов пробоподготовки /5/. Токсичные вещества, как правило, содержатся в анализируемых объектах в малых концентрациях и маскируются большим количеством других компонентов анализируемых проб, поэтому контроль загрязнения объектов инструментальными методами анализа в большинстве случаев невозможно проводить без предварительной подготовки проб. Пробу нужно сконцентрировать (часто в тысячи раз) и хотя бы частично отделить искомые компоненты от сложной матрицы, мешающей проведению даже качественного анализа. Один из главных недостатков существующих методов анализа – трудоемкая и длительная пробоподготовка. В связи с этим представляется необходимым развитие новых методов экспресс-анализа, необходимых для ведения мониторинга состояния здоровья населения. К таким методам, в частности, могут быть отнесены методы спектрального анализа/6/, основанные на использовании явлений комбинационного рассеяния (КР) света и фотолуминесценции (ФЛ) ароматических соединений, возбуждаемых импульсным лазерным ультрафиолетовым излучением. Перспективность использования таких методов для осуществления оперативного контроля качества и потребительских характеристик пищевых продуктов обусловлена интенсивным развитием в последние годы техники лазерной спектроскопии конденсированных сред, включая гетерогенные молекулярные структуры и биологически-активные вещества /7,8/. Появление новых эффективных лазерных источников света видимого и ультрафиолетового диапа-

зонах, автоматизация процесса спектрального анализа и возможность накопления базы данных о спектрах интересующих молекулярных структур открывают широкие возможности для практических применений в области контроля качества пищевых продуктов.

1. Методы лазерной спектроскопии для исследования различного класса веществ

Применение оптических методов анализа различных веществ и природных сред находит все большее применение в науке и технике, поскольку эти неразрушающие молекулярную исследуемую структуру методы позволяют оперативно получать информацию об их качественном и количественном составе. В настоящее время проводятся дистанционные исследования, характеризующиеся высокой чувствительностью [9], при этом процесс пробоподготовки минимализирован.

Новые возможности лазерной спектроскопии появились после разработки в Физическом институте имени П.Н. Лебедева РАН лазерной спектрофлуориметрической установки на базе импульсного лазера на парах меди с удвоением частоты [10].

Принципиальная схема эксперимента для исследования особенностей спектров КР и (ФЛ) следов примесных компонентов в животных жирах и растительных маслах при их возбуждении оптическими гармониками линий генерации лазера на парах меди приведена на рис. 1.

Излучение от активного элемента лазера на парах меди, работающего в режиме неустойчивого резонатора, фокусировалось длиннофокусной линзой в нелинейно-оптическом кристалле дигидрофосфата аммония (ADP). Кристалл ADP был вырезан таким образом, что условие синхронизма выполнялось для сложения частот исходного лазерного излучения с длинами волн 510,6 и 578,2 нм. Таким образом, на выходе кристалла ADP возникало ультрафиолетовое излучение (УФ) с длиной волны 271,2 нм. Коэффициент преобразования видимого излучения в ультрафиолетовое составлял около 1%. Полная средняя мощность генерации в двух линиях составляла 3 Вт, частота следования импульсов генерации – 10 кГц, их длительность – 20 нс. Таким образом, возбуждающее ультрафиолетовое излучение характеризовалось средней мощностью 10 мВт и пиковой мощностью 100 Вт. УФ излучение фокусировалось в цилиндрическую кварцевую кювету с плоскопараллельными окнами и прозрачной цилиндрической боковой поверхностью.

Регистрация УФ излучения осуществлялась с помощью фотоумножителя ФЭУ-71, работающего в режиме счета фотонов. За счет отвода малой доли возбуждающего излучения в блоке 10 формировался строб-импульс, позволяющий получать спектры вторичного излучения с временной задержкой в интервале 0 – 100 нс. Дифракционная решетка спектрометра поворачивалась с помощью шагового двигателя, управляемого с помощью компьютера. Время накопления сигнала при фиксированном положении дифракционной решетки изменялось в диапазоне 0,1...100 с в зависимости от интенсивности регистрируемого сигнала

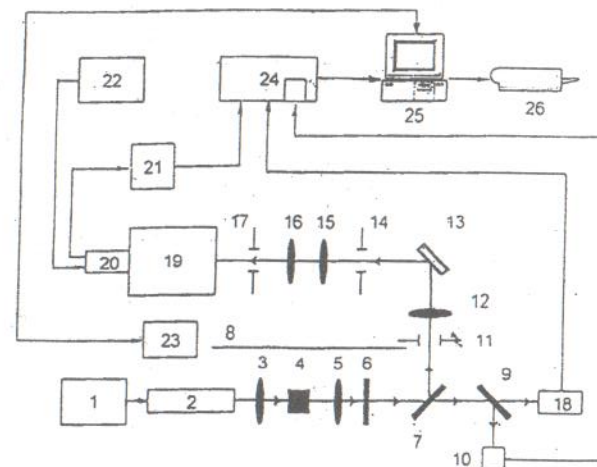


Рис.1. Принципиальная схема установки для регистрации спектров фотолуминесценции: 1 – блок питания лазера; 2 – активный элемент лазера; 3,5,12,15,16 – кварцевые линзы; 4 – нелинейно-оптический кристалл; 6,7,9 – диэлектрические зеркала; 8 – экран; 10 – блок формирования строб-импульса; 11,14,17 – диафрагмы; 13 – кювета с исследуемым веществом; 18 – фотодиод; 19 – монохроматор; 20 – фотоумножитель; 21 – усилитель; 22 – блок питания ФЭУ; 23 – шаговый двигатель; 24 – система регистрации; 25 – компьютер; 26 – принтер.

ФЛ. Информация от регистрирующего устройства подводилась к компьютеру и накапливалась в цифровом и аналоговом виде.

Введение нелинейно-оптического кристалла BaB_2O_4 , осуществляющего преобразование частоты исходного излучения, позволяет использовать для возбуждения спектров УФ излучение с длинами волн 225,3 нм и 289,1 нм.

2. Влияние ароматических примесей и добавок растительного происхождения на спектркомбинационного рассеяния сливочного масла

Для повышения эффективности биотехнологических производств используют так называемые ускорители (например, ферменты), растворители и технологические добавки, вносимые в продукты на различных стадиях производственного процесса. Эти вещества должны удаляться из продукта, но следы его могут обнаруживаться в готовом продукте. Допустимые количества всех технологических добавок строго регламентируются для каждого готового продукта [11]. Предметом исследований являлись образцы сливочного масла. В результате процессов технологической обработки и под влиянием внешних факторов в сливочном масле могут возникать ароматические примеси, существенно видо-

изменяющие его вкусовые качества и проявляющие в ряде случаев токсические и канцерогенные свойства.

В настоящее время трудно найти продукт, представляющий сливочное 100% масло. В любой продукт под таким названием добавляются химически обработанные растительные жиры, известные как маргарин.

Недавно в Софии на международном симпозиуме по нетрадиционной медицине было объявлено последних исследованиях врачей Англии, Франции, США и Болгарии, которые показывают, что маргарин опаснее сливочного масла. Холестерина в нем не намного меньше, но в процессе химической обработки образуются так называемые «трансжирные» кислоты, которые опасны для организма человека. Специалисты пришли к выводу, что кислота понижает уровень одновременно и полезного и вредного холестерина. А это приводит к атеросклерозу сосудов. Американцы приводят в доказательство такие факты: 50% пациентов, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями по 10–15 лет, «защищали» свое сердце маргарином. Смертность среди них такая же, как и у любителей сливочного масла.

Из сказанного видно, что потребитель вправе сам выбирать продукт питания, но при этом он должен быть уверен в отсутствии фальсификации, для чего необходимо наличие экспресс-методов.

Учитывая, что питание человека представляет собой многозвеньевую цепь: здоровье человека – пища – производство и реализация пищевых продуктов и сырья, следует учитывать возможность загрязнения и потери качества пищи на любой стадии производства. В частности, определяющим фактором эффективности животноводства, как одной из составляющих рациона питания человека, является качество используемых кормов. Существенное влияние на качество кормов оказывают входящие в их состав липиды, которые легко подвергаются гидролитическому расщеплению и окислению [12], что ведёт к возникновению различных заболеваний животных, приводит к гемолизу эритроцитов крови, снижению уровня гемоглобина, приводит к глубоким нарушениям липидного, белкового и углеводного обмена.

Природные липиды различного состава и строения характеризуются различной стойкостью при переработке и хранении. В зависимости от условий в них могут образовываться вещества, свидетельствующие об одновременном протекании гидролитического распада (гидролиза) и окисления или преобладания одного из них. При гидролизе образуются свободные жирные кислоты. Этому процессу способствуют высокая влажность, тепло, некоторые ферменты сырья и микроорганизмов.

Окисление липидов происходит в результате их соприкосновения с кислородом воздуха или тканей. При окислении липидов образуются первичные продукты окисления – перекисные радикалы, которые, являясь неустойчивыми соединениями, распадаются с образованием вторичных продуктов окисления.

Условия окисления определяют его направление и глубину. Так, например, по характеру образующихся вторичных продуктов можно судить о преобладании того или иного вида окисления. Существует два вида окисления: прогорка-

ние и осаливание. При прогоркании образуются короткоцепочечные альдегиды, кетоны, спирты, при осаливании: оксикислоты и продукты полимеризации. При повышении температуры происходит быстрое разрушение жиров и составляющих их жирных кислот с образованием летучих соединений – карбониллов, гидроксикислот, кетокислот, эпокислот и высокомолекулярных оксиполимеров. Полимеризация продуктов окисления может происходить в отсутствие кислорода с образованием циклических соединений и более высокомолекулярных полимеров. Полимерные соединения могут способствовать появлению токсичности у нагретых жиров. Изменения могут продолжаться и при низких температурах. Растительные продукты, особенно бобовые и зерновые, содержат фермент липоксигеназу, которая окисляет ненасыщенные жирные кислоты кислородом атмосферы с образованием перекисей. Особенно чувствителен к воздействию перекисей жизненно необходимый жирорастворимый витамин А (ретинол). Как правило, эти два процесса окисления протекают совместно, что усугубляет вредный эффект. Все продукты окисления липидов токсичны для организма и вызывают ряд патологических состояний. Это касается как животных, употребляющих корма, содержащие окисленные жиры, так и человека. Окисление липидов влечет за собой изменения на молекулярном уровне, что может быть выявлено методами КР [13].

В данной работе в качестве модельной токсической ароматической добавки, присутствующей в сливочном масле, используются твердотельные частицы стильбена, молекулы которых включают в себя два бензольных кольца. Исследуется влияние токсической ароматической добавки в сливочном масле на спектр КР света.

Спектры КР возбуждались линией генерации аргонового лазера (488,0 нм) и регистрировались на автоматизированной установке, включающей в себя двойной монохроматор ДФС-24 с разрешающей способностью 1 см^{-1} . Спектр анализировался в диапазоне $10\text{--}3300 \text{ см}^{-1}$, в котором проявляются решеточные моды органического кристалла («малые частоты»), область внутренних колебаний углеродного остова молекул жирных кислот и ароматических молекул («средние частоты») и область валентных колебаний групп CH_2 («высокие частоты»). На рис. 2 представлены спектры: 1 – сливочного масла, 2 и 3 – сливочного масла с концентрацией стильбена соответственно 2% и 10%, 4 – стильбена. Для сравнения полный спектр КР стильбена в диапазоне $10\text{--}3300 \text{ см}^{-1}$ представлен на рис. 3.

Как выяснилось в результате проведенных исследований, присутствие стильбена в сливочном масле хорошо проявляется в спектрах КР даже при малой концентрации стильбена.

В качестве характерных линий КР стильбена могут быть использованы резкий интенсивный пик вблизи 3200 см^{-1} , а также очень интенсивные линии КР, обусловленные внутренними колебаниями бензольного кольца: 998, 1192 и 1593 см^{-1} .

В спектрах КР сливочного масла хорошо проявились «скелетные» колебания углеродного остова молекул жирных кислот, а также валентные колебания

групп CH_2 /При анализе полученных результатов использованы выводы ранее выполненных работ /14,15/.

Таким образом, предлагаемая методика может быть использована в качестве средства оперативного контроля присутствия в конечном продукте сливочного масла токсических ароматических примесей и добавок, возникающих в про-

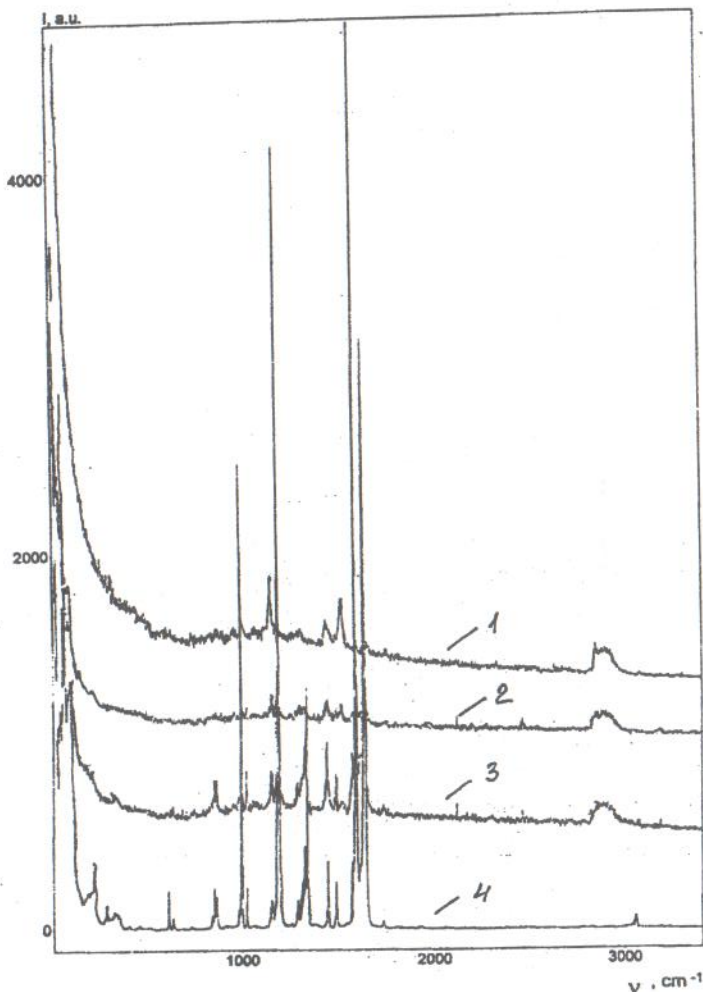


Рис. 2. Спектры комбинационного рассеяния: 1 - сливочного масла, 2 и 3 -сливочного масла с концентрацией стиблена соответственно 2% и 10%, 4 - стиблена

цессе хранения и вводимых при обработке исходного продукта для его консервации или модификации исходных характеристик.

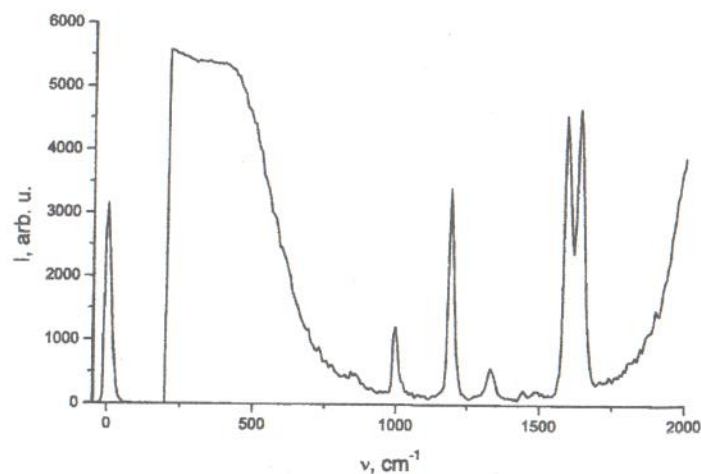


Рис.3. Спектр комбинационного рассеяния стиблена

3. Флуоресценция биологически активных примесей

Для проведения оперативного анализа токсичных и биологически активных примесей – ксенобиотиков (чужеродных веществ, поступающих в человеческий организм с пищевыми продуктами и имеющими высокую токсичность) – можно использовать современные методы лазерного флуоресцентного анализа.

Невозможность полноценного предотвращения поражения сельскохозяйственной продукции токсическими метаболитами плесневых грибов - микотоксинами – заставляет отвести главную роль в профилактике микотоксикозов человека системе контроля за загрязнением пищевых продуктов микотоксинами и установлению их безопасных концентраций. Микотоксины обладают мутагенными, тератогенными и канцерогенными свойствами. Современные научные исследования /16/ показали, что интоксикация микотоксинами является не только реальной, но и крайне серьезной угрозой здоровью населения Земли. Микотоксины могут сохраняться в продуктах после технологической обработки и консервирования.

Исследование спектров ФЛ проводилось с помощью импульсно-периодического лазера на парах меди (255,3 нм) на установке, принципиальная схема которой приведена на рис.1. Регистрировались спектры вторичного излу-

чения проб в УФ области спектра автоматизированным монохроматором МСД-2.

В качестве моделей биологически активных примесей использовались споровая форма бактерии (BT) и один из видов микотоксинов - так называемый афлатоксин (*Aspergillus*), обладающий способностью сильно флуоресцировать при воздействии УФ излучения. При импульсно-периодическом возбуждении спектров ФЛ плесени использовалась система стробирования, позволяющая регистрировать спектры с запаздыванием по отношению к возбуждающему импульсу длительностью 20 нс на величину задержки 0 - 100 нс. При этом время длительности строб-импульса (временная ширина ворот) составляло 20 нс.

Применение блока стробирования в системе регистрации при анализе спектров ФЛ открывает возможность изучения кинетики ФЛ и характера эволюции этих спектров со временем. Кроме того, это позволяет существенно подавить возбуждающее излучение и проводить анализ слабых сигналов ФЛ, не искаженных паразитным фоном интенсивных линий лазерного источника света.

Как выяснилось, в снятых без задержки спектрах ФЛ плесневого гриба *Aspergillus*, синтезирующимся, в частности, в рассолах, в спектрах ФЛ, полученных без задержки при УФ импульсном возбуждении, обнаруживаются интенсивные полосы, начинающиеся с 300 нм и имеющие максимум в области 440

нм (см. рис. 4 - Флуоресценция плесневого гриба (*Aspergillus*), $\lambda = 255,3$ нм. Кривые - 2, 3 - образцы плесени, кривая - 1 - водный раствор нафталина с концентрацией 100 мкг/л - реперная кривая).

Было установлено, что форма спектров ФЛ существенно видоизменялась для анализируемых образцов плесени. Спектр, соответствующий кривой 2, имеет некоторые особенности в области 340 - 380 нм. Можно предположить, что природа спектров ФЛ, наблюдаемой в образцах плесени, обусловлена составом рассолов, так как известно, что образование афлатоксинов в значительной степени зависит от состава субстрата, на котором развивается гриб. Синтезу афлатоксинов способствуют среды, содержащие в качестве источников углеводов - сахарозу, глюкозу; в меньшей степени - фруктозу, крахмал; токсины не продуцируются на среде с лактозой. (Кривая 2 - плесень из рассола без крахмала, кривая 3 - плесень из рассола с крахмалом.)

В результате выполненных исследований установлено, что в спектрах ФЛ микроорганизмов проявляются хромофорные группы ДНК триптофана и более сложных гетероароматических структур. Вид наблюдаемых спектров зависит от типа микроорганизма, способа его выращивания, а также от времени задержки в системе регистрации вторичного излучения.

Установлено существенное видоизменение наблюдаемых спектров ФЛ при деструкции микроорганизмов в результате процессов кипячения, воздействия коротковолновым непрерывным (0-30 мин) ультрафиолетовым излучением ксеноновой лампы и в результате хранения микроорганизмов в течение нескольких дней без необходимых условий для жизнедеятельности.

Так как существующие химические методы инактивации афлатоксинов, содержащихся в пищевых продуктах и кормах весьма дорогостоящи и не всегда

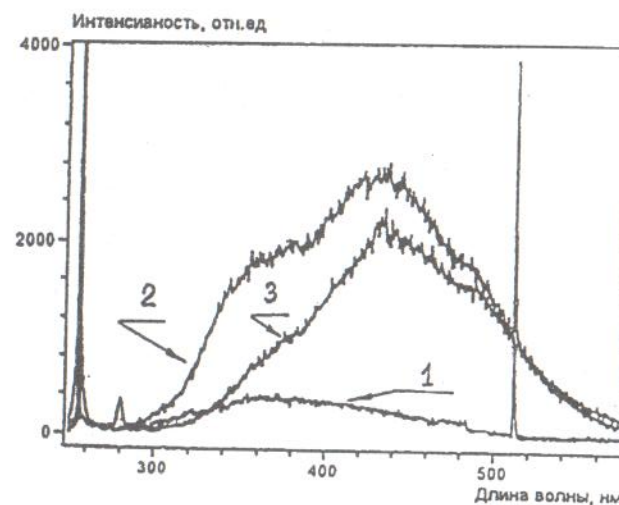


Рис. 4. Флуоресценция плесневого гриба (*Aspergillus*), $\lambda = 255,3$ нм. Кривые - 2, 3 - образцы плесени, кривая - 1 - водный раствор нафталина с концентрацией 100 мкг/л - реперная кривая).

эффективны, разрабатываемый метод имеет огромные перспективы для практического применения в России [17] для осуществления мониторинга пищевой продукции на загрязненность микотоксинами.

Исследования биологически-активных веществ показывают, что их спектры ФЛ зависят от типа образца и условий его технологической обработки.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет проводить идентификацию микроорганизмов и установление их характеристик под влиянием возмущающих факторов.

4. Заключение

Показано, что метод, основанный на спектральном анализе вторичного излучения, возникающего в пищевой продукции и в других объектах при их облучении импульсно-периодическим лазерным источником света, позволяет устанавливать типы: жирных кислот, растительных масел, типы и концентрации токсичных и биологически-активных примесей в пищевой продукции.

Ультрафиолетовое излучение позволило эффективно возбуждать КР и ФЛ от исследованных проб пищевых продуктов и проб патогенной биоты, характеризующихся присутствием хромофорных групп со спектром излучения в ближнем ультрафиолетовом диапазоне.

В результате выполненных исследований установлена возможность анализа молекулярного состава, фазового состояния и типа конформации насыщенных жирных кислот; присутствующих в растительных и животных жирах. Проведены исследования спектров токсичных и биологически-активных веществ и установлено, что спектры ФЛ зависят от типа образца и условий его технологической обработки. Разработанная методика позволяет осуществлять экспресс-анализ присутствия в пищевых продуктах токсических компонентов, включая микотоксины и другие контаминанты с концентрацией до 1 нг/л.

Литература

1. Поздняковский В.М. Гигиенические основы питания, безопасность и экспертиза продовольственных товаров. – Новосибирск: Изд-во Новосибирского ун-та, 1999. - 448 с.
2. Беляев Е.Н. Мониторинг питания и качество пищевых продуктов в системе социально-гигиенического мониторинга в РФ. //Вопросы питания, 1996, №3. - с. 3-8.
3. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 1997 году. Государственный доклад.
4. Новиков Ю.В., Куценко Г.Н., Подольский В.М. Современные эколого-гигиенические проблемы среды обитания человека и совершенствование санитарно-эпидемиологического надзора. М., 1997.
5. Современные методы анализа и оборудование в санитарно-гигиенических исследованиях. М., Мин. Здравоохранения, ФГУП «Интерсэп», 1999. - 496 с.
6. Левшин Л.В., Салеский А.М. Оптические методы исследования молекулярных систем. Ч.1. Молекулярная спектроскопия. - М.: Изд-во МГУ, 1994. - 320 с.
7. Кэри П. Применение спектроскопии КР и РКР в биохимии. - М.: Мир, 1985. - 272с.
8. Люминесцентный анализ. Под ред. Константиновой-Шлезингер М.А. - М.: ГИФМЛ, 1961. - 400 с.
9. Основы аналитической химии. В 2 кн. Кн. 1. Общие вопросы. Методы разделения. / Под ред. Золотова Ю.А. - М.: Высш. шк., 1999. - 351 с.
10. Gorelik V.S. Notes on the History of Studies of Raman Scattering at the P.N. Lebedev Physical Institute. - Journ. of Rus. Laser Res., 1997, v. 18, № 6. - p. 513 - 527.
11. Никаноров М. Вещества, специально добавляемые к пищевым продуктам и технические примеси. / М.: Пищевая промышленность, 1968. -104 с.
12. Бузлама В.С., Рецкий М.И., Мещеряков М.П., Рогачёва Т.Е.- Методическое пособие по изучению процессов перекисного окисления липидов и системы антиоксидантной защиты организма у животных. Воронеж, 1997 г. с. 27-29.
13. В.С. Горелик, А.М., Агальцов, Р.А. Моро. Фотолуминесценция следов ароматических соединений в водных растворах при импульсно-периодическом лазерном возбуждении. Оптика и спектроскопия. 1999, Т.88, № 6, с. 959-962.

14. В.С. Горелик, К.В. Глаголев, Г.В. Козлова, Л.В. Кольцова, А.В. Кравцов, Ю.П. Куркин, А.Н. Морозов, К.В. Показеев, П.П. Свербиль, А.В. Червяков. «Спектры комбинационного рассеяния света насыщенных жирных кислот». «Физические проблемы экологии» (экологическая физика), М.: Физический факультет МГУ, 2001, №6 с. 178-200.

15. Горелик В.С., Глаголев К.В., Кравцов А.В., Морозов А.Н., Куркин Ю.П., Показеев К.В., Червяков А.В. Комбинационное рассеяние света в насыщенных жирных кислотах. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, серия «Естественные науки», 2002 г., т. 8, № 1, с. 41-50.

16. Тутельян В.А., Кравченко Л.В. Микотоксины. –М.: Медицина, 1985. – 320 с.

17. Оценка загрязнения пищевых продуктов микотоксинами. Под редакцией В.А.Тутельяна. -М., 1985. -т.3. -315 с.

ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИСКУССТВЕННОГО ПОДЪЕМА ГЛУБИННЫХ ВОД И ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЭТИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ РЕСУРСОВ ОКЕАНА

Пшеничный Б.П.

(Межведомственная ихтиологическая комиссия)

На основании результатов собственных экспериментальных работ и литературных данных рассмотрены некоторые экологические проблемы, возникающие при искусственном подъеме глубинных вод в поверхностный слой океана. Приводятся оценки величин первичной продукции и биомассы фитопланктона, которые могут образоваться в поверхностном слое Черного моря и в некоторых районах океанов при подъеме глубинных вод. Рассмотрены возможные экологические последствия искусственного апвеллинга на окружающую среду и жизнедеятельность гидробионтов и возможности предотвращения этих последствий при культивировании хозяйственно-ценных гидробионтов. Делается вывод о целесообразности комплексного использования ресурсов глубинных вод океана, при котором предотвращаются возможности возникновения негативных последствий для окружающей среды и получается ценная пищевая продукция.

Антропогенная деятельность, направленная на удовлетворение растущих потребностей увеличивающегося населения Земли, привела к истощению природных ресурсов суши и заметному загрязнению биосферы. Выходом из сложившейся ситуации может быть освоение многочисленных природных ресурсов океана, запасы которых огромны. Особое значение при этом должно придаваться применению технических средств, использующих альтернативные источники энергии, не загрязняющих окружающую среду.

В настоящее время осуществляются первые шаги по освоению энергетических, химических, тепловых и биологических ресурсов глубинных вод океана. В качестве примеров можно упомянуть выработку электроэнергии на океанских термальных станциях ОТЕК, добычу и транспортировку полезных ископаемых со дна океана, водозаборы холодной глубинной воды для систем охлаждения атомных электростанций (АЭС), повышение биологической продуктивности вод поверхностного слоя в хозяйствах марикультуры и другие.

Для освоения природных ресурсов глубинных вод океана создан ряд механизмов и устройств, работа которых заключается в подъеме в поверхностный слой моря (или на судно, платформу) глубинных вод, содержащих эти ресурсы. Это, чаще всего, насосы, использующие традиционные источники энергии (Цыбин и др., 1976; Величко и др., 1980), однако, существуют устройства, использующие возобновляемые источники энергии - энергию волн (Jsaacs et al., 1976), течений (Liang et al., 1978), разницу плотности вод поверхностного и глубинного слоев (Stommel et al, 1965). Нами также разработаны устройства, использующие для подъема глубинных вод энергию морских волн (Авт. свидет. №№ 1248579; 1314989; 1384656; 1511455; 1563646; патент № 2057230), работа которых испытана в морских условиях.

Не касаясь технических и технологических аспектов использования ресурсов глубинных вод, отметим, что в результате такой деятельности в поверхностном слое моря оказываются значительные объемы глубинных вод, резко отличающихся по физическим, химическим и биологическим характеристикам от водной массы поверхностного слоя, то есть, создается искусственный апвеллинг. Воздействие искусственного апвеллинга на среду и жизнедеятельность гидробионтов может в значительной мере отличаться от воздействия естественного подъема глубинных вод, происходящего в водоемах, например, во время штормов или сгонных ветров, а его последствия могут быть сравнимы с последствиями, возникающими при катастрофических природных явлениях, не наблюдающихся в обычных условиях (Безносков, 2000)..

Можно полагать, что с ростом темпов освоения ресурсов глубинных вод, увеличатся и масштабы искусственного апвеллинга- объемы глубинных вод, поднятых в поверхностный слой моря. Однако, влияние искусственного подъема вод и последствия этого эффекта практически не изучены.

Целью настоящей работы является оценка возможных экологических последствий антропогенной деятельности по подъему глубинных вод на окружающую среду и представителей водной биоты и рассмотрение возможностей предотвращения негативных последствий искусственного подъема глубинных вод.

На базе ВНИРО Б.Утриш (северо-восточная часть Черного моря) в 1985-1990 гг. нами, совместно с сотрудниками кафедры гидробиологии МГУ, были проведены экспериментальные работы по оценке влияния глубинных вод аэробной зоны Черного моря, поднятых в поверхностный слой, на жизнедеятельность гидробионтов и оценке их продукционных возможностей. Проведенные работы позволили нам также подойти к оценке биопродукционного потен-

циала глубинных вод некоторых малопродуктивных районов Мирового океана. Методика и результаты работ опубликованы (Суздалева и др., 1998/1999). Основные выводы сводятся к тому, что в результате подъема глубинных вод с высоким содержанием биогенных элементов, биологическая продуктивность вод поверхностного слоя морей и океанов может быть многократно увеличена и малопродуктивные районы океанов могут стать высокопродуктивными, обеспечивая большие уловы рыбы и других морепродуктов. Было показано, что по самым скромным подсчетам, в каждом м³ воды, поднятой в поверхностный слой океана с глубины 200 м, может синтезироваться в среднем 0,2 г органического вещества (в углероде), или образовываться 3,2 г биомассы фитопланктона (в сыром весе) (Пшеничный, Безносков, 2001 ???).

Зная производительность механизмов и устройств, предназначенных для подъема глубинной воды при освоении некоторых ресурсов океана, нами рассчитаны величины потенциальной первичной продукции и биомассы фитопланктона, которые могут образоваться в поверхностном слое океана при их работе в течение определенного периода времени. Так, например, работа одного устройства искусственного апвеллинга, использующего энергию волн, производительностью 1 м³/сек. (Вершинский и др., 1987; Пшеничный и др., 1989; Веселов и др., 1998), за год работы может обеспечить образование в поверхностном слое моря около 6 т органического вещества (в углероде), или 100 т биомассы фитопланктона. Или, например, работа насосов для подъема глубинных вод с целью охлаждения агрегатов АЭС, производительностью 50 м³/сек. на каждые 1000 МВт мощности (Дрижюс, 1985), за год работы может дать в поверхностном слое моря порядка 300 т углерода, или 5000 т фитопланктона. То есть, можно полагать, что антропогенная деятельность, в результате которой создается искусственный подъем глубинных вод, будет способствовать увеличению биологической продуктивности вод поверхностного слоя моря и приводить к образованию значительного количества "дополнительной" продукции и биомассы фитопланктона.

Результаты наших работ также показали, что образование в поверхностном слое моря "дополнительной" продукции и биомассы фитопланктона может быть объяснено не только его интенсивным ростом на богатых биогенами водах с глубины, но также и резким снижением численности основных потребителей фитопланктона - организмов зоо-и бактериопланктона, происходящим в результате резкого изменения условий среды, главным образом, температуры, при подъеме глубинных вод (Виноградов и др., 1983; Безносков, 2000; Пшеничный, Безносков, 2001). Таким образом, можно считать, что при образовании "дополнительной" продукции и биомассы фитопланктона, может произойти резкое нарушение качественной и количественной структуры планктонного сообщества. В свою очередь, изменение структуры сообщества, может привести к неблагоприятному изменению структурно-функциональной организации экосистемы (Израэль и др., 1989), к нарушению ее естественного продукционно-деструкционного баланса. В результате подобного дисбаланса экосистемы, биомасса, созданная в поверхностном слое моря фитопланктоном, не использу-

ется потребителями и оказывается "лишней". В сущности, появление в водоеме такой "лишней" избыточной органики является ни чем иным, как одним из видов антропогенной эвтрофикации - загрязнением водоема, приводящем к негативным последствиям (Суздалева и др. 1998; Безносков и др. 1998/1999).

При крупномасштабных подъемах глубинных вод, ожидаемых в недалеком будущем при освоении ресурсов глубинных вод океана, нарушение продукционного баланса экосистемы, может привести к изменению, существующего в водоеме потока вещества и энергии, изменить, сложившийся веками, характер накопления донных осадков. Изменения существующего в водоеме круговорота веществ и характера осадкообразования, в свою очередь, могут вызвать изменения в углеродном цикле атмосферы, так как углерод, ассимилированный водорослями из атмосферы, в виде растворенного в воде углекислого газа, будет в больших количествах изыматься из атмосферы и захороняться, фиксироваться на дне водоема в составе донных осадков (Безносков, 2000). В свою очередь, сколько-нибудь заметное нарушение биогеохимического цикла углерода может привести к крайне нежелательным экологическим последствиям, в том числе, к изменению климата (Израэль, 1984).

Вероятнее всего, что изменению климата будет также способствовать и изменение теплосодержания вод поверхностного слоя моря, через который осуществляется "управление" климатом в том или ином районе Земли, при поступлении в этот слой холодных вод с глубины (Пшеничный, 2000). Возможно, что именно такие события и приводили к глобальным экологическим кризисам в геологическом прошлом нашей планеты (Безносков, 1998 а,б,в; Безносков, 2000).

Таким образом, можно полагать, что неконтролируемый искусственный подъем значительных объемов холодных глубинных вод с высоким содержанием биогенных веществ, может вызвать ряд нежелательных экологических последствий.

В принципе, предотвратить или уменьшить негативные экологические последствия крупномасштабного подъема глубинных вод возможно, если изымать из поднятой с глубины воды биогенные вещества, вызывающие интенсивный рост водорослей.

Изъятие биогенных веществ, поступивших в поверхностный слой моря с глубинными водами, и изъятие "лишнего" органического вещества, образовавшегося на этих биогенах, реально осуществить путем организации на участках искусственного подъема глубинных вод хозяйств марикультуры. Культивирование в таких хозяйствах организмов, потребляющих биогенные вещества и (или) органику для построения своих тел, и последующая, контролируемая человеком, утилизация полученной биомассы, будут способствовать предотвращению или устранению дисбаланса в продукционном цикле экосистемы планктонного сообщества, возникающего при подъеме глубинных вод, способствовать возвращению экосистемы водоема в первоначальное естественное сбалансированное состояние, предотвращая, тем самым, возникновение негативных последствий для окружающей среды. Культивирование водорослей и выращивание водных животных, представляющих коммерческий интерес, кроме устра-

нения негативных экологических последствий, может иметь большое хозяйственное значение.

К настоящему времени накоплен опыт хозяйственного использования биогенных веществ и "лишней" органики — биомассы фитопланктона, создающихся человеком при подъеме в поверхностный слой моря глубинных вод, как специально, целенаправленно для повышения биологической продуктивности вод в хозяйствах марикультуры, так и попутно, при освоении других ресурсов глубинных вод. Так, в экспериментальных работах, проводимых на о. Сент-Круа (Карибское море), показано, что богатая соединениями биогенных элементов вода, поднятая с глубины 800 м, обеспечивала очень высокий уровень продукции фитопланктона (5,3 гС/м²/сут.). Полученная биомасса водорослей использовалась для выращивания мидий и других двусторчатых моллюсков, размеры которых увеличивались в 2 раза, по сравнению с наблюдаемыми в естественных условиях (Gerard, Worzel, 1967; Roels et al., 1971, 1975, 1977; Rodde et al., 1976). На Аляске глубинная вода, поднятая с глубины 70 м, обеспечивала продукцию фитопланктона на уровне 1 гС/м²/сут. При закачивании воды с этой глубины в бассейны с мидиями за три месяца удалось вырастить моллюсков такого размера, которого они достигают в естественных условиях в этом районе за 4 года (Paul et al., 1978, 1979). Аналогичные результаты были получены в экспериментах с глубинной водой в Бразилии (Gonzales-Rodriguez, Maestrini, 1984).

Интересные многолетние работы по использованию глубинных вод для нужд марикультуры проведены на океанских термальных электростанциях ОТЕК в районе Гавай (Thomas, 1988). На воде, поднятой с глубины около 700 м выращивались макроводоросли, моллюски, ракообразные и рыбы. Показана экономическую эффективность такого культивирования (ОТЕС aquaculture in Hawaii, 1988). Следует упомянуть о больших возможностях использования биогенных веществ, поступающих в поверхностный слой моря при искусственном подъеме глубинных вод, для культивирования макроводорослей (Wilcox, 1982) и о результатах, полученных при выращивании макрофитов в море, вблизи устройств искусственного апвеллинга (Безносков и др., 1988). Наши экспериментальные работы на Б.Утрише показали также, что при интенсивном росте некоторых видов макрофитов на поднятой с глубины воде, происходит практически полное изъятие из воды биогенных веществ, а культивирование зеленой водоросли ульвы (*Ulva rigida* Ag.) полностью прекращает "цветение" воды, то есть рост микроводорослей.

Рассматриваются возможности использования биомассы фитопланктона, образованной при искусственном подъеме глубинных вод в открытом океане, для обеспечения кормом пелагических рыб-фитофагов, в качестве концентратов скоплений для привлечения в зону подъема вод рыб - активных мигрантов из сопредельных районов моря (Пшеничный, 1982, 1989, 1992; Пшеничный и др., 1989), а также в качестве сырья (биогаза) для получения энергии (Wilcox, 1982; Алексеев, 1984).

Вышеперечисленные примеры свидетельствуют о больших возможностях использования искусственного подъема глубинных вод для увеличения биоло-

гических ресурсов океана, необходимых для удовлетворения растущих потребностей человека в белковой пище, и о возможностях предотвращения (или снижения) негативных экологических последствий для окружающей среды при культивировании ряда гидробионтов. В некоторых случаях, в местах подъема глубинных вод может возникнуть необходимость культивирования объектов санитарной и санационной аквакультуры и полученная продукция должна использоваться только в технических целях (Безносков, 1997).

При освоении ресурсов океана необходимо учитывать ошибки, допущенные при освоении ресурсов суши, когда, например, добывался один "ценный" ресурс, а остальные оставались в отвале, или на добычу "ценного" ресурса затрачивалось огромное количество других "менее ценных" ресурсов. Поэтому, при освоении ресурсов глубинных вод, сопровождающемся их подъемом в поверхностный слой моря, необходимо осваивать комплекс ресурсов. При комплексном освоении ресурсов океана, должно осуществляться не только освоение какого-либо одного ресурса, например, энергетического, теплового или химического, а, одновременно с этим, также использоваться эффект повышения биологической продуктивности, возникающий при искусственном подъеме глубинных вод, и осваиваться биологические ресурсы. При таком подходе будут предотвращаться возможные негативные экологические последствия для окружающей среды, и получена дополнительная пищевая продукция, необходимая человеку.

Не менее важным условием освоения ресурсов океана должно быть применение для подъема глубинных вод устройств, использующих возобновляемые источники энергии, не загрязняющих окружающую среду.

Литература

1. Авторское свидетельство № 1248579 . Устройство для подъема глубинной воды в поверхностный слой водоема. Вершинский Н.В., Пшеничный Б.П., Сидоренко А.А . 08.04.1976
2. Авторское свидетельство № 1314989 . Устройство для подъема глубинной воды в поверхностные слои водоема. Вершинский Н.В., Пшеничный Б.П., Соловьев А.В. 08.02.1987.
3. Авторское свидетельство № 1384656. Устройство для подъема глубинных вод на поверхность водоема» — Пшеничный Б.П., Сапожников А.И. 01.12.1987.
5. Авторское свидетельство № 1511455. Волновой насос. Пшеничный Б.П., Волпаник В.В., Мордасов А.П, Зуйков Г.В., Орехов Г.В., Монахов Б.Е. 01.06.1989.
6. Авторское свидетельство № 1563646. Устройство для подъема глубинной воды в поверхностный слой водоема. Вершинский Н.В., Леонтьев С.Ю., Пшеничный Б.П., Соловьев А.В. 15.01.1990.
7. Патент РФ № 2057230. Волновой водоподъемник. Пшеничный Б.П., Пономарев А.И., Крцов А.С., Горохов Л.А.. 27.03.1996.

8. Алексеев В.В.- Биосоляр. (под ред. д.ф.м.н. В.В. Алексеева)// Издание МГУ. 1984. С.1-88.
9. Безносков В.Н., Побединский Н.А. Рост цистозиды в зоне искусственно-го
10. апвеллинга.// III Всесоюзн. конфер. по морской биологии. Киев. 1988. Ч.2., С. 105-106.
11. Безносков В.Н. Экологические последствия функционирования глубинных водозаборов.// Соврем. пробл. водн. хоз-ва и природообустройства. М.: Изд. Московск. гос. ун-та природообустройства. 1997. С. 108-109.
12. Безносков В.Н. Нарушение гидрологической структуры морских водоемов как причина экологических катастроф в настоящем, будущем и ... в прошлом.// Экосистемные перестройки и эволюция биосферы, М.: Изд. Палеонтол. Ин-та РАН. Вып.3. 1998 а. С. 55-59.
13. Безносков В.Н. Воздействие антропогенных нарушений гидрологической структуры на водные экосистемы и их возможное влияние на биогеохимический цикл углерода.// Метеорология и гидрология. 1998 б. № 12. С. 98-102.
14. Безносков В.Н. Крупномасштабное нарушение гидрологической структуры океана как стартовое событие биотического кризиса.// Докл. РАН. 1998 в. Т.361. № 4. С. 562-563.
15. Безносков В.Н., Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Дестратификационное загрязнение среды.// Вестник Российского ун-та дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 1998 /1999. № 3. С. 85-90.
16. Безносков В.Н. Крупномасштабное нарушение гидрологической структуры океана, биотические кризисы и их фиксация в геологической летописи.// Стратиграфия, геологическая корреляция. 2000. Т.8.№ 3. С. 3-13.
17. Величко Е.А., Контарь Е.А., Тареева О.К. За рудой в глубины океана //
18. М.: Недра. 1980. С. 1-95.
19. Вершинский Н.В., Пшеничный Б.П., Соловьев А.В. Искусственный апвеллинг с использованием энергии морских волн.// Океанология. 1987. Т.27.№ 3. С. 535-538.
20. Веселов А.И., Лукерченко Н.Н., Пшеничный Б.П., Рыбаков Ю.П., Шикин Г.Н., Янушкевич В.А. Динамика устройства для подъема глубинных вод, использующего энергию поверхностных волн.// Океанология. 1998. Т. 38. № 3. С. 462-465.
21. Виноградов М.Е. Биопродуктивность экосистем апвеллингов.// М.: 1983. С. 1-189.
22. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. Сукцессия морских планктонных сообществ // Океанология, 1983, том XXIII, вып. 4. С.633-639.
23. Дрижос М.-Р. Гидротермический режим водохранилищ-охладителей.//
24. Вильнос, Моклас. 1985. С. 166.
25. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды.// М.:
26. Гидрометеоздат. 1984. С. 560.
27. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана.// Л.: Гидрометеоздат. 1989. С.528.

28. Пшеничный Б.П. Перспективы повышения биологической продуктивности вод путем создания искусственного апвеллинга. // Тезисы докл. научно-технич. совещ. Исполъз. Физич. раздражит. в целях развития морск. рыбн. пром. М.: 1982. С. 10-11.
29. Пшеничный Б.П. И снова на тему волн. // Энергия (экономика, техника, экология). 1989. № 6. С. 54-57.
30. Пшеничный Б.П. Волновые устройства и ресурсы глубоководных вод. // М.: Метроном. Апрель 1992. С.17-18.
31. Пшеничный Б.П., Шевченко В.В. Перспективы повышения биологической продуктивности вод путем создания искусственного апвеллинга. // Вопросы ихтиологии. 1989. Т.29. № 2. С. 333-335.
32. Пшеничный Б.П. Оценка возможности охлаждения поверхностного слоя моря и влияния этого эффекта на климат. // Инженерная экология. № 3. 2000. С. 54-60.
33. Пшеничный Б.П., Безносков В.Н. Биоэкология: оценка величины биомассы и продукции фитопланктона при искусственном апвеллинге (влияние на окружающую среду и возможности использования). // Инженерная экология. № 5.2001. С. 51-60.
34. Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Егоров Ю.А. Дестратификационная эвтрофикация водоемов. // Природообустройство - важная деятельность человека. М.: Изд. Московск. ун-та природообустройства. 1998. С. 84-85.
35. Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Горюнова С.В., Пшеничный Б.П. Оценка влияния глубоководных водозаборов электростанций на биологическую продуктивность морских экосистем. // Вестник Российского университета дружбы народов. Экология и безопасность жизнедеятельности. 1998/1999. № 3. С. 52-57.
36. Цыбин Л.А., Шанаев И.Ф. Гидравлика и насосы. // М.: Высшая школа. 1976. С.1-251.
37. Gerard R.D., Worzel J.H. Condensation of atmospheric moisture from tropical maritime air masses as a freshwater resource. // Science. 1967. 157. P.1300-1302.
38. Gonzalez-Rodriguez E., Maestrini S.Y. Nutrient enrichment of Cabo Frio (Brasil) seawater for phytoplankton mass production. // Hydrobiologia. 1984. V. 111.N1.P.49-56.
39. Jsaacs J.D., Castel D., Wick G.L. Utilization of the energy in ocean waves. // Ocean engineering. 1976. V.1. P.1351-1365/
40. Liang N.K., Hsieh C.T., Huang P.A., Li D.S., Chu L.L., Wu C.L., Liang N.T. Artificial upwelling induced Ocean Currents. // Theory and Experiment. Ocean engineering. 1978. V.5. N 2.
41. OTEC aquaculture in Hawaii. (Edited by Fast A., Tanoue K.). 1988. Ocean Res. Branch Depart. of Buisn. And Econ. Devel. State of Hawaii. P.1-177.
42. Paul A.J., Paul J.M., Neve R.A.. Phytoplankton densities and growth of *Mytilus edulis* in an Alaskan artificial upwelling system. // J. Cons. Int. Explor. Mer. 1978.V.38.N1.P.100-104.
43. Paul A.J., Paul J.M., Shoemaker P.A. Artificial upwelling and phytoplankton production in Alaska. // Mar. Sci. Commun. 1979.V.5.N1. P.79-89.

44. Roels O.A., Gerard R.D., Be A.W.H. Fertilizing the sea by pumping nutrient-rich deep water to the surface // Fertility of the sea. Gordon and Breach Scientific Publishers. 1971. P.401-415.
45. Roels O.A., Haines K.C., Sunderlin J.B. The potential yield of artificial upwelling mariculture. // 10-th Symp. Mar. Biol. 1975. 1. P.381-390.
46. Roels O.A., Laurence S., Farmer M.W., Hemetryck L. Organic production potential of artificial upwelling marine culture. // ICES. C.M. 1977. 1977/1. P.25.
47. Rodde K.M., Sunderlin J.B., Roels O.A.. Experimental cultivation of *Tapes japonica* (Deshayes) (Bivalvia: Veneridae) in an artificial upwelling culture system // Aquaculture. 1976. N 9.P. 203-215.
48. Stommel H., Arons A.B., Blanchard D. An oceanographical curiosity : the perpetual salt fountain // Deep-Sea Research. 1956. V.3. n 2. P. 75-79.
49. Thomas D. Ocean Thermal Energy Conversion and the Natural Energy Laboratory of Hawaii. // OTEC in aquaculture in Hawaii. Honolulu: 1988. P.5-48.
50. Wilcox H.A. The ocean as a supplier of food and energy. // Experimentia. 1982.V.38.N1.P.31-35.

СЕКЦИЯ 7

ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ
СПЕЦИАЛИЗАЦИИ «ФИЗИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА» В БЕЛОРУССКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

А.П.Клищенко, А.Н.Красовский, В.В. Сикорский, Г.Ф.Стельмах.

Белорусский государственный университет, г. Минск, РБ

Ушедший век оставил в наследие человечеству не только великие открытия в физике и математике, биологии и электронике, химии и информатике, но и многочисленные проблемы, связанные с антропогенным воздействием на окружающую среду. Стало понятно, что усилиями лишь общественных организаций нельзя обеспечить охрану окружающей среды, поскольку для практического решения этой комплексной задачи необходим высокий уровень специальных знаний и технологий. Необходимо не только целенаправленно изыскивать пути разрешения накопившихся проблем, но и глубоко изучать истоки тех явлений и процессов, которые приводят к экологическим катастрофам, влияют на условия жизни человека, затрагивают саму основу существования цивилизации. Многогранность такого рода задач потребовало создания экологических отраслей науки и техники, привлечения в экологию учёных и специалистов различного профиля. Многие вузы стали готовить специалистов по экологии, решая эту проблему по двум направлениям – либо обучая специалиста в рамках достаточно узкого направления экологических знаний (эколог-химик, эколог-биолог и т.д.), либо давая экологическое образование по целому спектру наук, связанных с экологией, упуская многие вопросы специальных знаний.

С этой точки зрения выпускники физических факультетов университетов, получающие наиболее глубокие знания о строении материи и её фундаментальных свойствах, о законах взаимодействия излучения с атомами и молекулами, о физических основах и методах диагностики вещества, потенциально наиболее подготовлены к освоению такой комплексной профессии. Экологические исследования и технологии связаны с достаточно сложными техническими и математическими методами. Экологический мониторинг требует разнообразия аналитических подходов, сложной оптико-электронной аппаратуры, обработки больших массивов данных при помощи современных ЭВМ, создания специальных пакетов программ для её обеспечения.

Конечно, эффективность работы выпускника – физика в области экологии будет значительно выше, если знания в этой области он будет получать не после окончания вуза, а в процессе обучения за счёт специальных курсов учебного

плана, решая экологические вопросы в процессе подготовки курсовых и дипломных работ, участвуя в исследованиях различных научных коллективов. Такой подход позволяет избавиться от тех трудностей, которые связаны с подготовкой специалистов-экологов /1/.

Непростая экологическая ситуация, значительно ухудшенная последствиями катастрофы на Чернобыльской АЭС, сложилась в Республике Беларусь. Наличие районов с чрезвычайно высоким уровнем химического и радиационного загрязнения, необходимость проведения экологического мониторинга и исследований состояния природной среды, рационального использования природных ресурсов сделали весьма актуальной разработку и создание новых комплексных методов мониторинга территорий с применением дистанционных, наземных и лабораторных методов и средств измерений.

За последние годы в республике создана целая сеть геоэкоинформационных структур, позволяющих решать сложные экологические задачи. Для их функционирования потребовались специалисты различного профиля, в том числе и физики, владеющие современными физическими методами получения, обработки, хранения и анализа информации с использованием ЭВМ.

Цели подготовки специалистов такого профиля и послужила организация на физическом факультете БГУ новой специализации «Физическая информатика» /2-3/.

Методические аспекты формирования учебного плана и программ спецкурсов данной специализации были основаны на следующих принципах:

Фундаментальная подготовка по физике строения вещества и переноса излучения, изучение процессов взаимодействия излучения и частиц с жидкими, газообразными, твёрдыми и плазменными системами как фундаментальные основы современных физических методов диагностики;

Освоение методов и средств получения, выделения и обработки физической информации, проведение компьютерного эксперимента для решения практических задач по дистанционной диагностике среды;

Изучение экологических аспектов физических процессов и явлений, протекающих в природе, и их связь с деятельностью человека;

Последовательная и непрерывная компьютерная подготовка, совершенствование знаний основных языков программирования, широко используемых при обработке физической информации, больших массивов данных, сопоставлении теории и эксперимента.

Подготовка высококвалифицированных специалистов-физиков в области экологии требует оптимального сочетания фундаментальной подготовки в области физики математики, информатики и обучение в области прикладных проблем. Этого можно достичь лишь, увязывая воедино целую цепочку общих и специальных дисциплин, общих и специальных лабораторий. Такой учебный план реализован на кафедре атомной физики и физической информатики БГУ при подготовке специалистов в области геоэкоинформатики /2/. Цикл лекций включает базовые курсы по методам и средствам физических измерений с упо-

ром на методы и средства дистанционной оптической диагностики. К таким дисциплинам относятся, например, «Оптическая спектрометрия и энергетическая фотометрия», в которой наряду с изучением общих вопросов фотометрии, принципов действия и характеристик спектральных приборов, изучаются вопросы, связанные с задачами оптического дистанционного зондирования. Студенты знакомятся с методикой и аппаратурой обеспечивающей такие эксперименты, их использование при изучении вопросов экологии окружающей среды, состояния растительного покрова. Данный курс сопровождается спецлабораторией по спектрометрическим измерениям.

Специальный курс «Экоинформатика: дистанционная диагностика природной среды» знакомит студентов с задачами и техническими средствами дистанционного зондирования природной среды, организацией радиационного и экологического мониторинга, методами тематической интерпретации данных. В нём обсуждаются вопросы, связанные с прямыми и обратными задачами дистанционного зондирования, приборами, осуществляющими эксперимент, методами распознавания образов в задачах обработки аэрокосмической информации, структурой геоинформационных систем.

Среди таких дисциплин важное место занимает спецкурс «Основы физики атмосферы», излагающий основные сведения о физических процессах в атмосфере, их количественной теории и взаимных зависимостях. Определённая часть курса посвящена экологическим проблемам. Рассматриваются малые составляющие атмосферы. Озон и озоновые «дыры». Природные и антропогенные влияния на распределение озона и динамику изменения параметров. Затрагиваются вопросы экологии атмосферы, парниковый эффект. Анализируются международные соглашения по климату, трансграничный перенос загрязнений.

Лабораторный цикл подготовки по специализации с учётом экологической направленности включает изучение методов и средств спектрально-оптической диагностики, детектирующих приборов и устройств, а на последней стадии обучения – использование полученных навыков при исследовании физических процессов и характеристик объектов в различных агрегатных состояниях. Особенностью данного лабораторного цикла является широкое применение персональных ЭВМ на стадиях проведения эксперимента, обработки результатов и их анализе. Наряду с традиционными средствами измерений, приборов и систем, применяющихся в настоящее время непосредственно в геоинформационных комплексах, практикуется привлечение студентов к натурным измерениям ряда геоинформационных параметров (интенсивность и поляризация естественной освещённости, ультрафиолетовое излучение Солнца и т.д.) Теоретически этот специальный лабораторный цикл подкрепляется целым рядом лекционных дисциплин, основная задача которых дать целенаправленные знания для более эффективного и творческого участия студентов в научном эксперименте в период выполнения курсовых и дипломных работ в области экологии. Так, в курсе «Взаимодействие излучений с твёрдым телом и методы регистрации» изучаются процессы взаимодействия оптических фотонов, высокоэнергетических излучений и частиц с твёрдым телом. Обсуждаются принципы работы и характери-

ки энергетических и тепловых фотоприёмников. Рассматриваются механизмы образования радиационных дефектов в твёрдых телах, работа газоразрядных, полупроводниковых и трековых детекторов. Физический базис знаний о взаимодействии электромагнитного излучения с атомно-молекулярными системами в газовых и жидких средах, излагаемых в курсе. Преобразование электромагнитного излучения газофазными и жидкофазными системами позволяет студентам более аргументировано и профессионально изучать многие экологические проблемы, связанные с влиянием излучения различного спектрального состава на живые системы.

Важным элементом экологических аспектов подготовки физиков является изучение вопросов непосредственно связанных с получением, хранением, передачей, обработкой и отображением различной физической информации, т.е. вопросов исследования информационных потоков. В учебном плане специализации этот блок занимает особое место поскольку спецкурсы и спецлаборатории присутствуют на каждом из 3-х старших курсов. Общие вопросы физической информатики и машинной обработки результатов присутствуют в таких спецкурсах 3-его курса как «Физические основы информационных процессов», «Методы программирования и обработки экспериментальных данных, спецлаборатория «Методы обработки информации с помощью ЭВМ». На старших курсах, когда студенты начинают активно заниматься научной работой, им требуются более обширные знания в области языков программирования и методов решения задач на ЭВМ. Студентам предлагаются курсы «Программирование на языке СИ» и «Особенности программирования на СИ++ и компьютерное моделирование». Это тем более важно, что студенты готовя себя к работе в различных областях науки и техники, связанных с геоинформатикой, должны уметь обрабатывать на ЭВМ большие массивы данных, моделировать на компьютере различные физические процессы, решать экологические задачи.

Результаты такой базовой подготовки на последней стадии обучения закрепляются при выполнении курсовых и дипломных работ.

Кафедра имеет достаточно широкую возможность выбора тем работ студентам по вопросам физической информатики и экологии. Непосредственно на кафедре студенты выполняют работы по спектрополяризационным исследованиям растительных объектов. Кроме того, кафедра наладила тесное сотрудничество с национальным научно-исследовательским центром мониторинга озоносферы БГУ, лабораторией фотометрии НИИ прикладных физических проблем, республиканским научно-техническим центром «Экомир» с целью подготовки специалистов в области экологии. Многие студенты выполняют в этих организациях свои курсовые и дипломные работы.

Многие научно-исследовательские работы студентов получили высокую оценку специалистов при защите на ГЭКах, отмечены грамотами на различных студенческих конференциях. Среди таких работ исследования, связанные непосредственно с решением экологических проблем: «Модель лидарной системы для трассового газоанализа на основе CO₂-лазера», «Разработка пакета программ математической обработки данных дистанционного зондирования для Windows-

центрации электронов в ионосфере, электродинамические свойства верхней атмосферы, ионосферные и магнитные суббури и бури, математическое описание межпланетной и околоземной плазмы. Во втором спецкурсе окружающая среда рассматривается как объект исследования при помощи электромагнитных волн. Так как дистанционные методы основаны на излучении, приеме и анализе радиосигналов, формируемых в результате излучения, переизлучения либо рассеяния волн природными и (или) техногенными образованиями, то необходимым является освоение следующих вопросов: взаимодействие электромагнитных полей с объектом наблюдения, свойства канала переноса электромагнитного излучения (ЭМИ) от излучателя до объекта наблюдения и от объекта наблюдения до приемника, сравнительный анализ излученного (в активной локации) и зарегистрированного радиосигналов. Особое внимание уделено изучению диэлектрических свойств верхних и приземных слоев атмосферы, земных покровов (водные акватории, материковый и морской лед, горные породы и почвогрунты) во всем радиочастотном диапазоне. Третий спецкурс посвящен: вопросам теоретического описания и экспериментальных методов исследования переноса ЭМИ от реально существующего континуума источников, сравнительному анализу вклада в электромагнитный фон источников ЭМИ естественного (солнечная радиация, космическое и магнитосферное излучение, тепловое излучение, грозовые разряды) и искусственного (мировая сеть радиовещания и связи, телевидение, радиолокация, промышленность, электросвязь и электроэнергетика) происхождения, вопросам изучения стоков электромагнитной энергии. Основное внимание в этом спецкурсе уделено тем диапазонам радиоволн, которые удерживаются в полости Земля-ионосфера (доли Гц - десятки МГц).

На втором и третьем уровнях (подготовка специалистов и магистров) предусмотрено углубленное изучение физических процессов, возникающих при взаимодействии ЭМИ с веществом, преимущественно с живыми организмами. Основными являются спецкурсы «Введение в биофизику» (9 сем., 36 час. - лекции) и «Электромагнитная экология. Биофизические аспекты» (9 сем., 36 час. - лекции, 16 час. - лаборатория).

В этих спецкурсах преподаются вопросы, связанные с организацией и функционированием организма и его отдельных систем с физико-математической точки зрения, и рассматриваются специфические особенности воздействия ЭМИ на организмы или их системы (от субклеточного до биосферного уровня). В учебных планах основное внимание уделено преподаванию следующих вопросов:

- комплексы гео-гелиофизических факторов естественной среды обитания биосистем, включая основные компоненты спектра ЭМИ, формирующие естественный фон (гамма, рентгеновское, ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучение, радиоволны, геомагнитное поле и его вариации, статические и переменные элек-трополя), здесь же рассматриваются корреляционные взаимоотношения космофизических и биологических факторов и ритмологическая структура организации среды обитания (биоритмы, ритмотип);

- современные представления и модели (физические, математические, статистические) механизмов непосредственного воздействия ЭМИ на биологические системы, включая экологически (биологически) значимые факторы ЭМИ и особенности воздействия ЭМИ различных диапазонов (включая вопросы дозиметрии и меры защиты);

- иерархия организации гомеостазных механизмов в живых системах, соотношение регуляторных процессов различных уровней, мембранные потенциалы, метаболизм, пейсмекерные механизмы и их связь с биоритмами.

Экспериментально-методическое обеспечение курсов включает в себя учебно-научный комплекс для регистрации основных показателей функциональных систем организма человека в режиме параллельного с ЭМИ мониторинга. Основная цель лабора-торно-практических занятий - освоение методов регистрации основных показателей функциональных систем организма человека (нервная, сердечно-сосудистая, респираторная, терморегуляция, сенсомоторная) в режиме интерактивного мониторинга и функционально-психологического тестирования. В последнем случае практикуется индивидуальный подход.

Важным фактором, позволяющим сократить количество учебных часов по данному предмету и одновременно улучшить качество его усвоения, является система курсовых и дипломных работ, бакалаврских и магистерских диссертаций. Она позволяет студентам включиться в научную работу, самостоятельно научиться решать конкретные задачи, выработать умение представлять свои результаты. Для этого предусмотрены самые разнообразные формы: от выступлений на семинарах и студенческих конференциях до организации и проведения Всероссийских научных конференций и школ.

СПЕЦИАЛЬНОЕ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Попова Л.В.

*Международный независимый эколого-политологический университет,
г. Москва*

Непрерывное экологическое образование

В настоящее время в нашей стране создается единая система непрерывного экологического образования, правовой основой для которой послужили Закон Российской Федерации "Об охране окружающей природной среды", введенный в действие 19 декабря 1991 года, и "Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию" (утверждена Указом Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440). Но еще с 70-х годов в Российской Федерации в высших учебных заведениях стали преподаваться экологические дисциплины. Первая специализи-

рованная кафедра была образована в 1969 году в Казанском университете, позднее преобразованная в экологический факультет. Затем подобные кафедры появились в Ростовском (1974 г.), Уральском (1976 г.), Пермском и Симферопольском (1977 г.) университетах, а также в ряде институтов. Подготовкой кадров по специальностям, связанным с охраной окружающей среды и рациональным использованием природных ресурсов, стали заниматься средние специальные учебные заведения. В 1982-1983 годах были пересмотрены и введены новые учебные планы экологического образования учащихся техникумов и училищ по всем специальностям.

Непрерывное экологическое образование в данный момент несомненно стремится к принципу всеобщности (то есть экологическое воспитание и образование должно охватывать всех членов общества), на что многократно указывал Н.Н.Моисеев (Моисеев, 1998). А саму систему непрерывного экологического образования условно можно разделить на несколько ступеней: дошкольные учреждения; средняя школа (экологизация многих предметов и изучение биологических основ экологии); высшая школа (обязательное преподавание экологических дисциплин вне зависимости от специальности); профессиональная переподготовка; экологическое просвещение населения. Недавно еще при участии Н.Н. Моисеева коллективом авторов разработана "Национальная стратегия экологического образования в Российской Федерации" (Вестник экологического образования в России, №1(15) 2000). В ней обобщены цели и задачи экологического образования, а также представлены основные уровни и направления экологического образования. Это значительный шаг вперед в развитии системы непрерывного экологического образования.

Для высшей школы (вуз) экологическое образование условно можно разделить на три направления: для гуманитарных, технических и естественнонаучных специальностей. Эти направления имеют как общие, так и специальные задачи. К общим задачам можно отнести следующие:

формирование экологического мировоззрения;

получение глубоких знаний об основах устойчивого развития общества и природы;

всестороннее развитие личности, включая ее познавательные и творческие способности;

психолого-педагогическая подготовка студентов к экологическому образованию самых широких слоев населения.

А к специальным задачам каждого конкретного образовательного направления можно причислить:

получение теоретических основ специальных экологических знаний и их прикладных аспектов для различных специальностей;

развитие навыков научно-исследовательской работы в области охраны окружающей среды.

Решение общих задач экологического образования в высших учебных заведениях требует пересмотра учебных программ многих дисциплин, а также создание системы взаимосвязанных экологических курсов.

В нашем университете (МНЭПУ) сделана попытка последовательного включения в учебные планы различных гуманитарных факультетов ряда экологических и экологоориентированных дисциплин. Так, студенты первого курса изучают предмет "Современные экологические проблемы" и "Человек в природе и обществе", второго курса - "Экологию человека" и "Валеологию", а третьего курса - "Экополитологию" и "Экологическое право". Кроме этих общих обязательных дисциплин студенты старших курсов могут прослушать ряд элективных курсов по экологической этике, экологической журналистике, международному экологическому движению и т.д. Студенты ряда факультетов (психологического, политологического, юридического, экономического и журналистики) также могут подготовить и написать интересную дипломную работу, опираясь на конкретные материалы общественных и государственных экологических организаций, с которыми университет сотрудничает.

К сожалению, в вузах еще приходится сталкиваться с таким фактом, как неправильное толкование предмета изучения различных экологических наук, когда под определенным названием подразумевается совершенно другое содержание. Поэтому целесообразно остановиться на рассмотрении различий между изучаемыми в нашем университете дисциплинами. Так, в курсе "Современные экологические проблемы" студентов знакомят с биологическими основами жизни, рациональным и нерациональным потреблением ресурсов, а также глобальными и локальными проблемами современности (их причинами, последствиями и методами их решения). Курс "Человек в природе и обществе" рассматривает вопросы философской антропологии и социальной философии в связи с общими проблемами эволюции природы. "Экология человека" (или "Антропоэкология") изучает взаимное влияние человека на среду своего обитания и этой среды на человека с учетом этнических, демографических и медицинских аспектов. В рамках этого курса студенты учатся анализировать и прогнозировать влияние окружающей среды на человека с точки зрения популяционного подхода, в то время как знания по валеологии (науке, изучающей способы сохранения и укрепления здоровья в современных социально-экономических условиях) позволяют студентам ориентироваться в индивидуальных особенностях своего организма и закладывают научно-практические основы здорового образа жизни. В рамках дисциплины "Экополитология" рассматриваются различные политические проблемы экологической безопасности России и мира в целом, а также современное состояние международного сотрудничества и его перспективы. "Экологическое право" ставит своей целью научить студентов правильному пониманию и применению национального и международного природоохранного законодательства.

Усилия различных вузов страны по разработке системы непрерывного экологического образования объединяются усилиями как ряда общественных, так и государственных организаций. Особым образом здесь следует отметить деятельность национальной организации "Российский Зеленый крест", зарегистрированной в феврале 1994 года. С 1995 года данная общественная организация проводит ежегодные Международные конференции по экологическому образо-

ванию, где обсуждаются все проблемы образования и вырабатываются приоритетные направления и рекомендации. Н.Н.Моисеев принимал активное участие в этих конференциях (с 1995 по 1999г.г.) и высоко оценивал их значение (Моисеев, 1998). Цели координации отвечает и деятельность Всероссийского общества охраны природы (ВООП) - самой многочисленной организации. На базе организации ВООПа или при их участии создаются и работают экологические и эколого-методические центры, Советы, специализированные экологические объединения и ассоциации (в 1996 году их число составило более 200). Ученые, специалисты и практики в рамках данных структур ведут научно-методические исследования в области экологического обучения и воспитания различных категорий населения.

Специальное экологическое образование

Для успешного решения вопросов охраны окружающей среды необходимы квалифицированные специалисты экологи. Поэтому в настоящее время около сорока российских вузов готовят специалистов экологического профиля. По присваиваемой квалификации всех специалистов данного профиля можно разделить на несколько групп.

Наибольшее количество специалистов готовится с квалификацией "Инженер". Их профессиональная деятельность направлена на инженерное решение природоохранных задач в рамках конкретных производств. К этой группе относятся специальности - "Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов", "Инженерная защита окружающей среды", "Безопасность жизнедеятельности", "Мелиорация, рекультивация и охрана земель", "Комплексное использование и охрана водных ресурсов", "Природоохранное обустройство территории". Следующая группа - это преподаватели школ. В тридцати педагогических вузах Российской Федерации готовят учителей биологии, химии и географии со специализацией по экологии. Обе указанные выше группы специалистов должны решать, хотя и важный, но узкий круг вопросов. Поэтому они получают знания преимущественно прикладного значения.

Фундаментальные экологические знания получает только группа специалистов с квалификацией "Эколог", "Эколог-природопользователь", "Геоэколог", которые ориентированы на решение комплексных проблем охраны природы и рациональное использование природных ресурсов. Эти специалисты работают в проектно-конструкторских бюро, в подразделениях Министерства природных ресурсов РФ, а также в отраслевых, ведомственных и муниципальных экологических службах. Полученные ими в вузе знания позволяют грамотно проводить экологическую экспертизу любых объектов с учетом их специфики. Такое преимущество перед другими специалистами им дает расширенная базовая биолого-географическая подготовка, опирающаяся на знания математики, физики, химии (практически в объеме часов технического вуза). Такие дисциплины, как биоэкология, общая паразитология, фитоценология, почвоведение, геоэкология, учение об атмосфере, учение о гидросфере и др. знакомят студентов со сложностью функционирования как живых, так и неживых компонентов естественных

экосистем и показывают пути их сохранения при антропогенном вмешательстве в природу. А такие обязательные общепрофессиональные дисциплины, как основы природопользования, техногенные системы и экологический риск, экологическое проектирование и экспертиза, экономика природопользования, дают студентам все необходимые знания и навыки управления природопользованием в современных условиях.

В настоящее время УМО по экологическому образованию университетов разработало стандарты второго поколения. Их отличительной особенностью является увеличение объема аудиторной нагрузки до 70 % от общего количества часов, выделяемых на изучение каждой дисциплины. А также обязательное закрепление в федеральном компоненте целого ряда дисциплин (до 12-14 в общепрофессиональном блоке различных экологических специальностей). В стандартах первого поколения многие из обязательных в настоящее время дисциплин вообще отсутствовали, например, экологическая экспертиза, радиационная экология, а также ряд биологических дисциплин. Это было связано с тем, что в силу молодости экологических специальностей еще 8 лет назад многие плохо представляли себе, что надо преподавать в первую очередь. Поэтому вузы сами решали вопросы насыщения учебного плана. Сейчас уже данный этап пройден и на передний план выходят другие задачи.

Одной из важнейших задач экологического образования является повышение качества преподавания, в том числе и с использованием компьютерных технологий. Начальным этапом широкого использования компьютеров в экологическом образовании стало создание имитационных игр. Первые разработки были сделаны в Казанском университете. Это следующие имитационные программы "ЗОЛОТАРЬ", "Малая река", "Озеро". Данные программы моделируют как антропогенное воздействие на проточную или замкнутую экосистемы, так и систему очистки стоков промышленных предприятий, жилых и сельскохозяйственных комплексов. Наибольшую популярность получили также игры "Всемирное рыболовство" и "Стратегия" (распространяются через Санкт-Петербургский технический университет), позволяющие заглянуть в будущее и просчитать последствия различных видов хозяйственной деятельности человека. В первом случае последствия чрезмерного лова рыбы, а во втором - комплексной хозяйственной политики внутри отдельно взятого государства. Эти игры рассчитаны преимущественно для студентов, специализирующихся в области охраны окружающей среды или экономики природопользования, и базируются на определенном уровне знаний. Они также могут быть использованы и для студентов других специальностей в качестве наглядного примера необходимости экологических знаний в настоящее время для людей любой профессии.

Прежде чем рекомендовать преподавателям заниматься со своими студентами компьютерными имитационными играми, следует освоить методики ролевых имитационных игр по соответствующим разработкам. Достаточно интересные ролевые игры созданы в лаборатории охраны природы биологического факультета МГУ и изданы в качестве брошюр в издательстве "Аргус". Важная заслуга их еще и в том, что они показывают как сложно принять социально

значимое решение на уровне района, города и т.д. Здесь решающую роль могут выполнять (что мы и наблюдаем в реальной жизни) общественные массы, а не специалисты в области охраны окружающей среды. Поэтому в любой игре четко видно, что общие экологические знания у основной массы населения это и есть то необходимое звено, которое позволит повысить качество окружающей природной среды, соответственно и качество жизни людей.

Особым образом следует выделить обучение информационным технологиям студентов экологических специальностей. В настоящий момент государственным стандартом предусматривается как подготовка по общей компьютерной грамотности, так и целые специальные предметы базирующиеся на соответствующих программах. Так, бакалавры по направлению "511100 - Экология и природопользование", а также специалисты: "013100 - Экология", "013600 - Геоэкология" и "013400 - Природопользование" изучают дисциплину "Информационные технологии" в МНЭПУ в течении четырех семестров и в объеме 130 аудиторных часов. Такое детальное изучение основных программ (Word, Excel) для пользователя персонального компьютера помогает студентам не только оформлять рефераты, курсовые и дипломные работы с учетом всех современных требований, но и показывает путь для дальнейшего совершенствования в работе. Internet - в частности - методы сбора информации, что определяет в настоящее время успех многих начинаний.

Для студентов 5 курса экологического факультета МНЭПУ преподается специальная дисциплина "Геоинформационные системы" (Свентэк Ю.В., Богомолов А.Л., 1997). Цель данного курса - научить студентов работать с картографическими изображениями в векторном и растровых форматах, дать им практические навыки с работой в картографических пакетах "MapMaker", "MapViewer" и ГИС "Atlas GIS" в среде "Windows".

На данном этапе становится также возможным использование мультимедийных технологий для создания отдельных курсов. В нашем университете уже разработан комплексный курс "Экология. Охрана природы и экологическая безопасность." Записанный подобным образом курс позволяет решить ряд важных задач: 1) формирование образного представления об изучаемом предмете наряду с передачей конкретных знаний, 2) получение дополнительной интересной информации (разные уровни изучаемого материала: основной и дополнительный) и 3) возможность самостоятельного качественного изучения курса (особенно актуально для заочной формы обучения).

Синтез естественного и гуманитарного знаний через экологическое образование в вузе

Решение общих задач экологического образования в высших учебных заведениях требует пересмотра учебных программ многих дисциплин, как гуманитарных, так и естественных. Данный пересмотр следует вести по пути взаимного дополнения естественных наук элементами гуманитарных знаний и наоборот. Н.Н.Моисеев неоднократно говорил, что "сегодня единство естественных и гуманитарных наук - залог будущего. Это и есть современный гуманизм" (Моисее-

ев, 1999). И это единство должно быть обязательно присуще современному гуманитарному образованию. Рассмотрим некоторые примеры взаимосвязи различных областей знания.

Государственный образовательный стандарт предъявляет ряд требований к знаниям и умениям специалистов по циклам дисциплин. В области *философии, истории культурологии, педагогики и психологии* специалист должен иметь представления о научной картине мира, назначении и смысле жизни человека; понимать смысл отношения человека к природе и современных противоречий существования человека в ней; понимать роль науки в развитии цивилизации; знать объективные связи обучения, воспитания и развития личности в образовательных процессах и т.д. При выполнении этих требований следует широко осветить многие экологические идеи, для лучшего понимания которых необходимо знакомство с биологическими основами жизни, с описанием материального мира в пространстве и во времени, с химическими связями и химическими реакциями, с эволюцией Вселенной как процесса преобразования энергии.

Так, в *философии* при изучении научной картины мира можно показать логику развития научного знания через смену парадигм: от геоцентризма к геоцентризму, от геоцентризма к гелиоцентризму, затем к устранению какого бы то ни было центризма вообще из описания всего нашего мира и наконец, переход от данного мира к структурно неисчерпаемому множеству всевозможных квазизамкнутых миров. При этом следует хотя бы вскользь остановиться на основных физических законах, которые стали отправными точками смены научных парадигм. В *истории и культурологии* в темах "наука и развитие цивилизаций" следует не просто констатировать о тех или иных достижениях науки и соответствующих им изменениях в производстве, а заглянуть глубже в некоторые разделы современной химии и биологии. Можно показать, как знание структуры вещества и его химической активности ведет к созданию новых технологий, а те в свою очередь влияют на окружающую природную среду и здоровье человека. Например, современная диоксиновая проблема зародилась еще в начале XX века, когда научились расщеплять поваренную соль на натрий и хлор. А затем вводить атомы хлора в нефтяные углеводороды, создавая ценные продукты - хлорированные углеводороды, без которых мы уже не представляем нашей жизни.

Изучая развитие цивилизаций и различных культур, параллельно всегда рассматриваются системы природопользования. Если и здесь перейти от простой констатации фактов к критическому анализу событий с учетом основных биологических законов и принципов (лимитирующего фактора, ключевого доминантного вида, круговорота веществ в биосфере и потока энергии, роли био-разнообразия и др.), то сразу можно показать многие противоречия между природой и человеком, которые приводили и приводят к локальным и глобальным экологическим проблемам.

Таким образом, через дополнение чисто гуманитарных дисциплин естественными знаниями можно повлиять на формирование научного мировоззрения у студентов, передав им многие экологические идеи. Например, следующие:

все живые организмы, включая человека, компоненты биосферы; значение и использование естественных экосистем человеком; антропогенные факторы, воздействующие на экосистемы; оптимизация взаимоотношений человека и природы.

При решении обратной задачи – дополнении естественных наук гуманитарными знаниями – можно рассматривать два пути. Первый – это привнесение прежде всего в *экологию* научных подходов и методов исследования, применяемых в истории, психологии, социологии, экономике. Само собой разумеется, что при этом в курсе экологии рассматриваются смежные с данными науками вопросы (экономических механизмов природопользования, исторических этапов развития экологического знания, роли личности и общественности в решении экологических проблем). Второй путь – включение в программы отдельных конкретных дисциплин разделов по педагогике, в частности по дидактике, так как основные ее положения обогащают общую культуру мышления и общения, а также расширяют профессиональные возможности всех специалистов с высшим образованием. Классические принципы дидактики (научности, сознательности и самостоятельности, систематичности, последовательности, преемственности, наглядности, доступности, прочности, связи теории с практикой) могут определять содержание, формы и методы не только учебной работы, но и во многом – научной. Учитывая указанные выше принципы, можно лучше организовать научные исследования в любой научной области. А изучение психологических основ общения (целей и функций общения) поможет учащимся в настоящем и будущем формировать нормальный социально-психологический климат любого коллектива (создавать тон взаимопонимания и доброжелательности в коллективе). Последний фактор очень важен для общества наших дней. Осознав необходимость взаимопонимания между людьми, человек также приходит к выводу о необходимости понимания происходящих в природе естественных и антропогенных процессов и в конечном итоге – к необходимости “коэволюции” природы и человека.

Таким образом, обогатив *экологию* разделом по теории и практике ее преподавания, можно не только повысить общий культурный уровень студентов, но и решить практическую задачу психолого-педагогической подготовки студентов для последующего экологического просвещения населения.

Литература:

6. Моисеев Н.Н. Историческое развитие и экологическое образование. М.:Изд-во МНЭПУ, 1995. 54 с.
7. Моисеев Н.Н. Судьба цивилизации. Путь разума. М.:Изд-во МНЭПУ, 1998. 228 с.
8. Моисеев Н.Н. О вводном курсе в университетском образовании // Человек в природе и обществе. М.:Изд-во МНЭПУ, 1999. С. 5-13.

9. Национальная стратегия экологического образования в Российской Федерации //Вестник экологического образования в России. 2000 № 1(15). Приложение 20 с.

10. Свентэк Ю.В., Богомолов А.Л. Геоинформационные системы //Программы учебных курсов и практик кафедры геоэкологии. М.: Изд-во МНЭПУ, 1997. С. 62-63.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ БИОФИЗИКОВ НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ КРАСНОЯРСКОГО ГОСУНИВЕРСИТЕТА

Холостова З.Г., Фишов В.В., Печуркин Н.С., Кратасюк В.А.

Красноярский государственный университет, Россия

Многолетний опыт подготовки биофизиков на физическом факультете Красноярского госуниверситета показал, что эффективно решать современные экологические проблемы могут специалисты с фундаментальным образованием по физике и математике, дополненным экологическими знаниями.

Учебный план подготовки биофизиков включает общеобразовательный курс биологического и химического профиля, а так же базовый годовой курс общей биофизики с лабораторным практикумом. Курс биофизики посвящен рассмотрению связей между формой и структурой биологических систем, с одной стороны, и их функцией и кинетическими параметрами, с другой. В курсе общей биофизики изучаются стационарные и нестационарные термодинамические системы, гармонические и агармонические колебательные процессы. Завершается курс рассмотрением надорганизменных систем, что логично подводит студентов к экологической проблематике. При этом прежде всего, необходимо определить содержание экологической составляющей образования биофизиков, позволяющей им в дальнейшем профессионально решать широкий спектр экологических задач.

Отличительной чертой всех процессов, происходящих на Земле является существенное влияние человеческой цивилизации на ход природных процессов в биосфере. Понимание роли этого фактора невозможно без знания характеристик всех процессов массо-, энерго- и информационного обмена в биосфере – как природных, так и искусственных. Необходимо представлять их механизмы и взаимосвязь.

Другой характеристикой современных процессов является возрастание неустойчивости биосферы, прежде всего в ее различных подсистемах.

Эти условия обязывают человека осуществлять функции мониторинга, контроля и управления всеми глобальными процессами. Реализация этой идеологии

является основой формирования экологической составляющей подготовки специалистов на кафедре биофизики физического факультета КрасГУ.

Созданная в шестидесятые годы кафедра биофизики Красноярского филиала НГУ, а затем Красноярского государственного университета в подготовке студентов всегда ориентировалась на направления исследований лаборатории биофизики Института физики, в дальнейшем Института биофизики СО РАН (ИБФ). Фундаментальные и прикладные экологические исследования всегда занимали значительное место в работе ИБФ. То же можно сказать и о работе других базовых институтов кафедры - Института леса (ИЛ) и Института вычислительного моделирования (ИВМ) СО РАН.

Одним из первых направлений подготовки студентов являлась специализация "Управляемый биосинтез", что определялось работами ИБФ в области создания замкнутых экосистем. Учебный план этой специализации содержал ряд экологических дисциплин. Закономерна трансформация этого направления в более общее - "Экологическая биофизика", которое сохраняется и до настоящего времени. Опыт обучения студентов в области экологической биофизики позволил разработать новое образовательное направление в области физической экологии - «Радиоэкология», так как радиационное загрязнение окружающей среды является одним из факторов общих экологических проблем. По заказу и поддержке Администрации края с 1995 года началась подготовка радиоэкологов на кафедре биофизики КрасГУ.

Экологическая составляющая учебного плана подготовки студентов по "экологической биофизике" и "радиоэкологии" представляет собой цельную, постоянно совершенствуемую систему курсов, предназначенных для формирования профессионального комплекса знаний, умений и навыков.

Далее рассматривается краткое содержание программ основных спецкурсов, входящих в экологический блок.

Фундаментальную часть экологического блока составляют такие дисциплины как "Глобальная экология (физические основы)", "Биофизическая экология", "Популяционная биофизика".

В спецкурсе «Глобальная экология» рассматривается: иерархическая структура биосферы, потоки энергии в биосфере, абиотические циклы вещества, циклы в живой природе, энергетические принципы биологического развития, ступени эволюции жизни на Земле, современный биогеохимический круговорот, влияние человека на биосферу, насущные задачи прикладной экологии.

Этому спецкурсу предшествует курс "Экология", читаемый сотрудниками кафедры для всего потока студентов-физиков, в котором рассматриваются проблемы устойчивого развития цивилизации с биосферно-ноосферных позиций.

В спецкурсе «Биофизическая экология» более подробно изучаются: энергетический баланс Земли, потоки воды и растворов на уровне клетки и организма, биоэнергетика, энергетические бюджеты животных и растений, фотосинтез, энерго- и массообмен в лесных экосистемах.

Спецкурс «Популяционная биофизика» рассматривает процессы на уровне популяции и сообществ: рост, типы парных взаимодействий, модели биотиче-

ских циклов, микроэволюция, связь структуры и функции биосистем, границы устойчивого функционирования сложных биосистем.

Конечной целью этих спецкурсов является такая степень формализации экологических задач, которая допускает количественный анализ поведения системы в различных условиях.

В спецкурсе "Теория катастроф" излагаются: статистика катастроф и их классификация, вероятностные характеристики катастроф и концепция приемлемого риска, модели катастроф (экстремальные модели, модели выбросов, диффузионные модели и др.), аналитические и статистические алгоритмы прогнозирования, приложения теории катастроф к задачам инженерной экологии.

Завершается блок профессиональной экологической подготовки курсами, формирующими "рабочий инструментарий" будущего специалиста.

Поскольку изучение экосистем и биосферы в значительной мере сопряжено с математическим моделированием экологических процессов, то необходимо введение в учебный план таких дисциплин как «Системный анализ» и "Математическое моделирование процессов в биосфере".

Спецкурс "Математическое моделирование процессов в биосфере" развернуто рассматривает стадии предмоделирования: этап "свертки" информации, методы и проблемы теории классификации, псевдостатистические методы, алгоритм таксономии, методы случайного поиска, метод главных компонент. Методология предмоделирования иллюстрируется приложениями к проблемам принятия решений, классификации и районирования территорий. Собственно моделирование рассматривается как следующий этап свертки информации. В курсе подробно рассматриваются некоторые непрерывные и дискретные модели (системы "эритрон", древостоя, динамики численности насекомых, заболачивания территорий и др.), затрагиваются проблемы формализации и имитации.

Для приобретения практических навыков компьютерного моделирования в спецпрактикум включена объемная работа по глобальной и системной экологии с использованием пакета структурного моделирования "Stella-II".

Управление биосферными процессами предполагает владение методами экологической экспертизы и прогнозирования. Курс «Экологическая экспертиза и прогнозирования» включен в учебный план подготовки студентов-биофизиков. В нем рассматриваются цели, задачи и методы экологического прогнозирования на примере моделирования и прогноза пространственно-временной динамики лесов; излагаются различные подходы к эколого-экономическому моделированию, критерии оптимальности. Геоинформационные системы представляются как основа рационального природопользования.

Спецкурс "Экологическая биотехнология" знакомит студентов с новейшими достижениями в этой области. В спецкурсе рассматриваются основы теории микробиологических процессов синтеза и деструкции вещества микроорганизмами: различные процессы культивирования; материальный, энергетический баланс и процессы переноса в биотехнологических системах, методы управления ими; чистые, смешанные культуры и ассоциации организмов; процессы адаптации, использование генноинженерных штаммов. Подробно разбираются

азробные и анаэробные процессы деструкции вещества, бактериальное выщелачивание минерального сырья, биоочистка газовых выбросов.

Необходимость непрерывного контроля за состоянием биогеоценозов и биосферы в целом, определяет введение в программу экологической подготовки курса "Мониторинг биосферы и дистанционное зондирование". В курсе представлены следующие разделы: понятие о мониторинге, его необходимость и иерархичность, концепция дистанционного зондирования (ДЗ), как основного метода мониторинга биосферы; оптический диапазон электромагнитного спектра, законы излучения и поглощения света применительно к практике ДЗ; принципы устройства приборов ДЗ, активные и пассивные системы, типы фотокамер и фотопленок, разрешающая способность систем, многозональная съемка; функциональная схема спектрометров, составляющие спектрометров (детекторы, призмы, решетки, фильтры и др.); сканирующие спектрометрические методы сканирования, лазерное зондирование, параметры (апертура, пиксел и др.), регистрация данных, калибровка; микроволновое зондирование, физические параметры радаров, взаимодействие излучения с подстилающей поверхностью; взаимодействие излучения с растительным покровом, информативность различных зон радиоспектра, возможности оценки гидрологического режима территорий, биомассы и видового состава растений; источники радиометрических искажений (инструментальные ошибки, геометрические искажения и др.); атмосферные влияния; визуальное инструментальное дешифрирование, прямые и косвенные дешифровочные признаки, топографическая привязка, использование иных данных для дешифрирования, цифровой анализ изображений, комбинирование каналов, обучающие выборки, кластерный анализ и др.; динамика древостоев, инвентаризация лесов, таксация, картирование и контроль, динамика; пирологический мониторинг; лесопатологический мониторинг, основные вредители, вспышки численности и пожароопасность, синергизм различных повреждающих факторов, признаки повреждений, оценка состояния почв; оценка состояния сельскохозяйственных угодий; водные акватории; глобальные изменения; изменения климата; ДЗ в исследовании геологических и геофизических процессов.

В специальных курсах направления "Радиоэкология" также рассматриваются все основные аспекты современного экологического состояния применительно к фактору радиационного загрязнения среды обитания. Такими курсами являются: "Радиоэкология", "Радиоэкология среды обитания человека", "Медицинская радиоэкология", "Основы радиационной безопасности".

Неотъемлемой частью профессиональной экологической подготовки студентов кафедры является выполнение дипломных работ и магистерских диссертаций по экологической тематике. Например за последние годы были выполнены работы по следующим темам:

Закономерности развития биотических циклов в замкнутых микросистемах после интродукции генетически модифицированных организмов;

Съемка NOAA/AVHRR в мониторинге техногенных ландшафтов;

Анализ соосаждения тяжелых металлов и радионуклидов ферритным методом;

Анализ объектов фрактальной природы в процессах биологической очистки воды;

Оценка возможностей определения содержания некоторых элементов в объектах природной среды методом нейтронно-активационного анализа;

Моделирование динамики северной границы древесной растительности;

Исследование радоноопасности территорий г. Красноярск на основе данных измерения плотности потока радона.

Следует отметить недостаток специальной учебной литературы. С 1997 года кафедра биофизики КрасГУ участвует в проекте "Исследовательская кафедра биофизики" ФЦП "Интеграция". В рамках проекта были подготовлены и изданы с грифом Министерства образования следующие учебные пособия: "Избранные главы экологической биофизики", "Глобальная экология. Биофизические аспекты", "Программное обеспечение и технологии геоинформационных систем", "Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города", "Введение в прикладную радиогеоэкологию", "Экология и здоровье человека. Медицинская радиоэкология". Готовятся к изданию и другие учебные пособия для сопровождения спецкурсов экологической направленности. Благодаря этому дефицит специальной учебной литературы частично ликвидирован.

Участие кафедры в различных грантах экологической тематики (РФФИ, ИНТАС, Красового фонда науки и др.) позволяет студентам-биофизикам активно заниматься научной работой с применением полученных знаний.

Правильность выбранной стратегии подготовки биофизиков в области экологии подтверждается их востребованностью в различных сферах профессиональной деятельности (наши выпускники работают в исследовательских и образовательных учреждениях, в структурах экологического контроля и управления, на производственных предприятиях).

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Интеграция» (грант А0021) и программы Министерства образования РФ и CRDF (грант REC 02).

Литература

1. Holostova Z.G., Lopatin V.N., Balueva G.R., Kuzmina R.I., Fishov V.V. A conception of training specialists in ecological biophysics. Abstracts 11-th international biophysics congress. Budapest. Hungary, 1993
2. Холостова З.Г., Брильков А.В., Лопатин В.Н., Фишов В.В. Экологическая биофизика в системе экологического образования. Тез. международной научно-практической конференции "Безопасность жизнедеятельности в Сибири и на Крайнем Севере", ч.1, Тюмень, 1995, с.145-146.
3. Брильков А.В., Печуркин Н.С., Холостова З.Г., Фишов В.В. Ноосфера: - научные основы гармоничных отношений человека и природы. Тез. международной научно-практической конференции "Безопасность жизнедеятельности"

жизнедеятельности в Сибири и на Крайнем Севере", ч.1, Тюмень, 1995, с.132-133.

4. Zoja G. Holostova, Victor V.Fishov, Valery N.Lopatin, Alexey V.Babkin, Anatoly V.Brilkov. Biophysical foundations of ecological education. Proceedings of Inter-national Congress Ecological Initiative'96. Environmental Education. Kansas State University, Manhattan, Kansas. USA. - 1996. - P.15-17.

5. Zoja G. Holostova, Victor V.Fishov, Valery N.Lopatin, Anatoly V.Brilkov. Radioecological specialization at the biophysics department of the Krasnoyarsk State University Proceedings of Inter-national Congress Ecological Initiative'96. Environmental Education. Kansas State University, Manhattan, Kansas. USA. - 1996. - P.28-29.

6. Печуркин Н.С., Брильков А.В., Ганусов В.В. Глобальная экология. Биофизические основы. Учебное пособие (с грифом Министерства общего и профессионального образования РФ). – Краснояр.гос.ун-т. Красноярск, 1998. – 156 с.

7. Избранные главы экологической биофизики. Учебное пособие (с грифом Министерства общего и профессионального образования РФ)/Под общ. ред. проф. В.Н.Лопатина, проф. В.И.Харука – Новосибирск: Наука. Сиб.предприятие РАН, 1998.-128 с.

8. Коваленко В.В., Холостова З.Г. Введение в прикладную радиогеоэкологию: Учебное пособие (с грифом Министерства общего и профессионального образования РФ). - Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. – 108 с.

9. В.Ф.Мажаров, З.Г.Холостова Экология и здоровье человека. Медицинская радиэкология. Учебное пособие (с грифом Министерства общего и профессионального образования РФ). -Новосибирск: "Наука" Сибирское предприятие РАН.- 1998. -145с.

10. Лопатин В.Н., Холостова З.Г., Фипов В.В Экологические направления в биофизическом образовании на кафедре биофизики Красноярского государственного университета. Тез.докладов 2-го съезда биофизиков России, Т.3, Москва. - 1999. С. 1092-1093

СОДЕРЖАНИЕ

ТРЕТЬЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
"ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ
(ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИКА)"3

РЕШЕНИЕ ТРЕТЬЕЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ФИЗИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ (ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИКА)».....6

СЕКЦИЯ 1

ЭКОЛОГИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО
КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА И АТМОСФЕРЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
Адушкин В.В., Калмыков А.А.8

ПОТОКИ КВАЗИЗАХВАЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЯМИ >0.08 МЭВ В
ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ
Богомолов А.В., Денисов Ю.И., Колесов Г.Я., Кудрявцев М.И.,
Логачев Ю.И., Свертилов С.И.18

ОБНАРУЖЕНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ В ПОТОКЕ
НЕЙТРОНОВ ВБЛИЗИ ЗЕМНОЙ КОРЫ
В.А.Захаров, Б.М.Кужевский, О.Ю.Нечасв26

МОДЕЛИ ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ
ВЫСЫПАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ НАЗЕМНЫМ
ДАНЫМ
Смирнова Н.В., Ляхов А.Н., Осепян А.П., Козлов С.И.33

ДИНАМИКА СТРУЙНЫХ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ В АТМОСФЕРЕ
В.Ш. Шагапов (СГПИ), О.С. Гудкова (СФ СГИ).....42

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ И
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРЕ
Шагапов В.Ш., Галиаскарова Г.Р.50

СЕКЦИЯ 3

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ФИЗИКИ ЗЕМЛИ

УТОЧНЕНИЕ МЕСТ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ ПО НАТУРНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ
ОБЛАЧНОСТИ
Бибикова Т.Н., Проскурякова Т.А., Журба Е.В., Алексеев В.А.60

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННОГО РЕЖИМА
ПОДЗЕМНЫХ ВОД
Горбунова Э.М.70

РЕГИСТРАЦИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.

Калинников И.И., Манукин А.Б., Матонин В.П.	78
ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	
Улитин Р.В., Назаров С.В.	85

СЕКЦИЯ 4

БИОФИЗИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАРИАЦИЙ ГЛОБАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЧИСЛА ЭКСТРЕННЫХ ОБРАЩЕНИЙ ЗА НЕОТЛОЖНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩЬЮ В Г.ТОМСКЕ	
Бардак А.Л., Каложин В.В., Головачева О.Б.	94
ВЛИЯНИЕ СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ НИЗКОЧАСТОТНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РЕАКЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА	
Бородин А.С., Бардак А.Л., Каложин В.В., Иванова Т.В.	101
ИНФОРМАЦИОННАЯ ЗНАЧИМОСТЬ СВЕРХСЛАБОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭМБРИОНОВ НИЗШИХ ПОЗВОНОЧНЫХ	
Бурлаков А.Б., Белоусов Л.В., Голиченков В.А.	109
ВЛИЯНИЕ ГЕЛИОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС РЫБ (НА ПРИМЕРЕ КАРПА)	
Лебедева Н.Е., Головкина Т.В.	116
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА НА ЛЭП	
Найдис Г.В., Солособов Ю.М.	122
РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ НА ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ «МИР»	
В.Г. Митрикас, М.В. Тельцов, В.В. Цетлин.	125

СЕКЦИЯ 6

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В АРХИТЕКТУРАХ КЛИЕНТ-СЕРВЕР И ИНТЕРНЕТ/ИНТРАНЕТ	
Воронцов А.А., Беллинских А.Л., Плутников В.А.	136
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И СНИЖЕНИЯ АЭРОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДЛЯ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ	
С.Я.Герценштейн, К.В. Показеев, А.Н.Сухоруков.	142
НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПОДХОДОВ К НОРМИРОВАНИЮ УРОВНЯ ШУМА НА РАБОЧИХ МЕСТАХ И В ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА НИЗКИХ И ИНФРАЗВУКОВЫХ ЧАСТОТАХ	
Гончаренко Б.И., Гордисенко В.А.	149

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КСЕНОБИОТИКОВ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ В ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ	
Козлова Г.В.	158
ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИСКУССТВЕННОГО ПОДЪЕМА ГЛУБИНЫХ ВОД И ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЭТИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ РЕСУРСОВ ОКЕАНА	
Пшеничный Б.П.	169

СЕКЦИЯ 7

ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ «ФИЗИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА» В БЕЛОРУССКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ	
А.П.Клищенко, А.Н.Красовский, В.В. Сикорский, Г.Ф.Стельмах.	178
ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭКОЛОГИИ В ДИСЦИПЛИНАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА	
Колесник А.Г., Колесник С.А., Королев С.С., Нагорский П.М., Побаченко С.В.	183
СПЕЦИАЛЬНОЕ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ	
Попова Л.В.	185
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ БИОФИЗИКОВ НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ КРАСНОЯРСКОГО ГОСУНИВЕРСИТЕТА	
Холостова З.Г., Фишов В.В., Печуркин Н.С., Кратасюк В.А.	193

Научное издание

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ
(ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИКА)

№ 11

Сборник научных трудов
Под ред. В.И. Трухина, Ю.А. Пирогова, К.В. Показеева

Напечатано с готового оригинал-макета

Издательство ООО "МАКС Пресс"

Лицензия ИД N 00510 от 01.12.99 г.

Подписано к печати 19.06.2003 г.

Формат 60x90 1/16. Усл.печ.л. 12,75. Тираж 50 экз. Заказ 521.

Тел. 939-3890, 939-3891, 928-1042. Тел./Факс 939-3891.

119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова,

2-й учебный корпус, 627 к.