Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ПРИКЛАДНОЙ ГЕОФИЗИКИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Е.К.ФЕДОРОВА

Выпуск 90

55 лет Институту прикладной геофизики

1956-2011

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

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ПРИКЛАДНОЙ ГЕОФИЗИКИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Е. К. ФЁДОРОВА

Выпуск 90

55-ЛЕТИЮ ОБРАЗОВАНИЯ ИНСТИТУТА ПРИКЛАДНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ПОСВЯЩАЕТСЯ

Москва
2011

УДК 504, 528, 550.3, 551, 556, 574

Сборник содержит статьи молодых ученых Росгидромета, представлявшиеся на Конференции молодых ученых 16-18 февраля 2011 г. Конференция была посвящена 55 – летию образования Института прикладной геофизики. Статьи сборника посвящены основным направлениям работ в учреждениях Росгидромета: гелиогеофизике, гидрометеорологии и охране окружающей среды.
Сборник представляет интерес для специалистов, работающих в различных областях геофизики, метеорологии, гидрологии, экологии, охраны окружающей среды.

© Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Фёдорова, 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

В Институте прикладной геофизики давно стало традицией проводить конференции молодых ученых и издавать труды этих конференций в сборниках трудов Института. Такая конференция состоялась и 16 - 19 февраля 2011 г. Она была необычной, ибо являлась частью торжеств, посвященных юбилею Института, который праздновался весной 2011 г. Под углом этого события и стоит посмотреть на настоящий сборник.

Как неоднократно указывалось на торжественном заседании, посвященном юбилею, Институт сильно изменился за прошедшие десятилетия. Не могли эти изменения обойти и работу Совета молодых ученых и аспирантуру Института. Аспирантура и Совет теперь охватывают несколько смежных по тематике научных направлений, а потому и тематика работ аспирантов и докладов на конференции стала несравненно шире, чем она была, скажем, в девяностые годы. Но все же, мы - институт прикладной геофизики, и поэтому существенная часть докладов (и, соответственно, работ в данном сборнике) посвящена вопросам гелиогеофизики, которыми в последние годы занимается Институт. Хотя даже в этих работах влияние времени очень чувствуется - акценты с классических проблем физики атмосферы и ионосферы переносятся постепенно на острые современные вопросы диагностики различных явлений и использование современных спутниковых методов этой диагностики.

Перечислять все работы по отдельности, конечно невозможно и не нужно. Отметим лишь несколько характерных направлений. Пять работ, открывающих сборник, посвящены классическим проблемам физики и морфологии ионосферы, точнее – ионосферной области F2 как представляющей наибольший интерес в плане прогнозирования условий распространения радиоволн. Четыре следующих работы «следуют моде». Они посвящены проблемам ионосферной томографии и наблюдений состояния ионосферы с помощью приема сигналов навигационных спутников. Это - сегодняшний день ионосферных наблюдений. Навигационных спутников много. Все шире развертывается и сеть наземных приемных пунктов. Следовательно, в будущем наблюдения общего электронного содержания станут существенным элементом ионосферной службы, где пока доминирует вертикальное зондирование с Земли и планируется зондирование со специальных спутников.

Ионосфера и землетрясения. Десять лет назад такое словосочетание серьезные ученые посчитали бы крамолой. Но «времена меняются, и мы меняемся вместе с ними». И сегодня о проблеме ионосферных предвестников землетрясений посвящают

специальные сессии на крупнейших международных геофизических форумах.

И очень хорошо, что три следующих статьи сборника касаются именно этой тематики и написаны молодыми учеными нашего института. Хорошо потому, что в ИПГ работают крупные специалисты в этом вопросе (Ю.К. Калинин и С.А. Пулинец).

Остальные работы первого раздела посвящены различным вопросам гелиогеофизики и в той или иной степени отражают работы, ведущиеся в этой области как в нашем институте, так и в «сопредельных» организациях.

Второй раздел сборника посвящен метеорологии и агрометеорологии. Если в первом разделе, посвященном гелиогеофизике (или, как мы теперь говорим «погоде в космосе») доминируют хозяева, то второй и третий разделы целиком написаны нашими гостями. А их на этой конференции было больше, чем на любой из предыдущих. Тематика затронутых проблем здесь так широка, что трудно объединить доклады в какие-либо группы. Можно подчеркнуть лишь, что как дань времени спутниковая тематика вторгается в проблемы как метеорологии, так и агрометеорологии. Отметим также, что несколько статей представлено нашими молодыми коллегами из Высокогорной геофизической обсерватории (г. Нальчик). Тематика статей посвящена злободневному для региона вопросу формирования аэрозолей в облаках и связанной с этим градоопасности. Но сам факт появления молодых специалистов в удаленных от крупных научных центров регионах не может не радовать.

Третий раздел сборника объединяет статьи еще более широкого диапазона тематик. В целом он посвящен проблемам экологии и мониторинга окружающей среды. Но проблема эта так огромна, что трудно даже характеризовать какую либо основную направленность статей этого раздела. Отметим лишь, что и через четверть века после катастрофы Чернобыль остается раной на российско-украинской земле и приходится проводить специальные исследования для того, чтобы следить за тем, как эта «рана» затягивается (работа Д.А. Манзона). Целая серия работ посвящена экологии и мониторингу водных объектов. Видимо, они являются на сегодня наиболее ранимыми в экологическом плане. Наконец, приятно отметить, что в одной из статей (Н.В. Андрианова и И.М. Шахова) нашли отражения совсем свежие события - лесные пожары аномальным летом 2010 г.

В целом, можно смело утверждать, что конференция прошла успешно и послужила хорошей «запевкой» предстоявшей потом серии мероприятий по празднованию юбилея Института. Докладов было много. Авторы представляли не только (и даже не столько) Институт

прикладной геофизики, но многочисленные учреждения как Росгидромета, так и других ведомств. И, самое главное, научный уровень докладов был, по общему мнению, высок. А это - главное, что требуется от конференции молодых специалистов. Будем надеяться, что данный сборник послужит подтверждением этого.

Профессор,
А.Д. Данилов

В работе конференции, проходившей с 16 по 18 февраля 2011 года, помимо ИПГ, приняли участие аспиранты и молодые ученые ААНИИ, ВГИ, ВНИИГМИ - МЦД, ВНИИСХМ, ГОИН, ИГКЭ, Северо-Западного филиала «НПО «Тайфун», Архангельского ЦГМС - Р, Нижегородского ЦГМС - Р, Центра Российского регистра гидротехнических сооружений и государственного водного кадастра, Военно - космической академии имени А.Ф. Можайского, Главного испытательного центра Министерства обороны Российской Федерации имени Г.С. Титова, МГУ имени М.В. Ломоносова, Международного университета природы, общества и человека «Дубна», Российского университета дружбы народов.

Программа конференции включала: пленарное заседание, секционные заседания и круглые столы. В рамках конференции работали следующие тематические секции:

- проблемы физики и морфологии ионосферы;
- проблемы ионосферной томографии и наблюдение состояния ионосферы с помощью приема сигналов навигационных спутников;
- проблема ионосферных предвестников землетрясений;
- различные вопросы гелио – геофизики;
- метеорологиия и агрометеорология;
- экология и мониторинг загрязнения природной среды.

Конференция дала возможность молодым ученым ознакомиться с современными достижениями в российской науки.

В.Б. Лапшин

А.Д. Данилов

Ю.К. Калинин

С.И. Авдюшин

С.В. Тасенко

А.В. Сыроешкин

А.А. Шеховцов

М.Л. Гитарский

Д. Манзон

Н. Моисеева

И. Говор

А. Агуренко

Р. Салугашвили

Тихерина-Борисенко Ханет

А.С. Демешкин

Е.Н. Хотенко, В.Б. Лапшин

В.Б. Лапшин, Н. Фадеев

В.Б. Лапшин, Ю. Барсуков

В.Б. Лапшин, О. Бичекуев

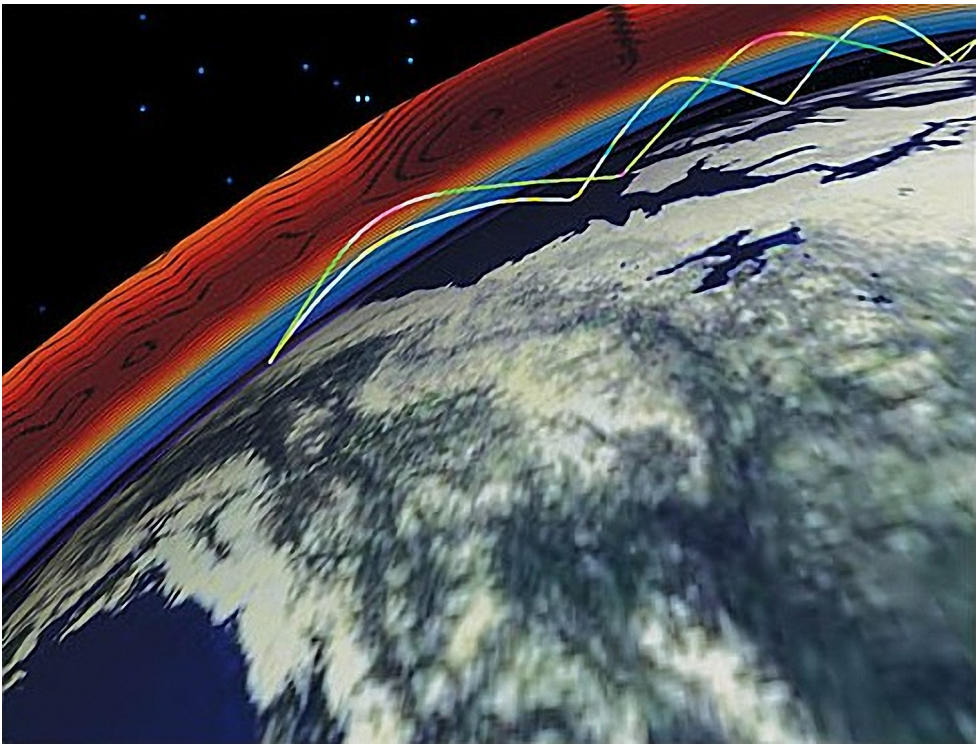
В.Б. Лапшин, П. Шатов

В.Б. Лапшин, М. Полуаршинов

В.Б. Лапшин, В. Буторин

В.Б. Лапшин, А. Абшаев

ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ И МОРФОЛОГИИ ИОНОСФЕРЫ



УДК 621.396.+ 550.388

РАЗВИТИЕ МЕТОДА НЕГОЛОМОРФНЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ВАРИАЦИЙ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ ОБЛАСТИ F2 СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОЗОВ МПЧ

А.М. Батаков

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

batakov-ipg@mail.ru

Ключевые слова: долгосрочное прогнозирование, суточная изменчивость, наклонное зондирование, ассиметрия, эксцесс.

Ниже будут рассматриваться относительные вариации δf_0F2 критической частоты f_0F2 области $F2$ ионосферы

$$\delta f_0F2 = \frac{f_0F2 - [f_0F2]_{med}}{[f_0F2]_{med}} \quad (1)$$

где $[f_0F2]_{med}$ суточная скользящая медиана [1].

Относительные вариации δf_0F2 рассматриваются как случайные величины, к которым применимы методы статистического моделирования. Одним из его фундаментальных вопросов является получение информации о характере законов распределения $W(\delta f_0F2)$ [2]. В этой связи особый интерес представляют собой выборочные статистические инварианты ограниченных множеств $\{\delta f_0F2\}$ – величины среднего, дисперсии, асимметрии и эксцесса, поскольку они дают возможность определить характер закона распределения $W(\delta f_0F2)$ без сложного процесса моделирования этой функции. Используется вариант метода неголоморфных функций, заключающийся в разрыве масштаба x_m в начале координат функции $W(\delta f_0F2/x_m)$. Так можно положить, что для $\delta f_0F2 > 0$ имеет место масштаб $x_m = a$. Тогда как на отрицательной полуоси масштаб равен b. Такой подход позволит выразить статистические инварианты несимметричного распределения через эксцесс симметричного распределения E_s и масштабы a, b. Существенно, что для симметричного распределения

$W_s(\delta f_0 2/x_m)$, $a = b$ в области $E_s > 0$ используется характеристическая функция [3]

$$f(\lambda) = \left[1 + \frac{6\,\lambda^2\sigma^2}{E_s}\right]^{-\frac{3}{E_s}} \quad (2)$$

В области $E_s < 0$ используется характеристическая функция (λ, ν), которая выражается через функцию Бесселя первого рода J с индексом $\nu + \frac{1}{2}$ [4]

$$f(\lambda, \nu) = \Gamma\left(\nu + \frac{3}{2}\right)\left(\frac{2}{\lambda}\right)^{\nu+\frac{1}{2}} J_{\nu+\frac{1}{2}}(\lambda) \quad (3)$$

где параметр ν связан с величиной E_s соотношением

$$\nu + \frac{5}{2} = \frac{3}{E_s} \quad (4)$$

Приведенными формулами величина E_s определена в интервале $\{-2,\ 6\}$.

Ниже будет использована методология, развитая в работах [3,4]. Согласно этой методологии, параметрами модельной функции плотности вероятности $W(\delta f_0 F2)$ являются выборочные асимметрия A и эксцесс E. При этом ограничения

$$|A| \ll 1, |E| \ll 1, \quad (5)$$

существенные для применения модели в виде ряда Эджворта [4], снимаются за счет использования специального вида характеристических функций (2,3). Ограничения (5) следует заменить требованием значимости выборочных величин A и E, модули которых должны превышать A_0 и E_0, где:

$$A_0 = \sqrt{\frac{6}{n}}, E_0 = \sqrt{\frac{24}{n}} \quad (6)$$

Снятие ограничений (5) особенно существенно при сравнительно малых объемах выборки. Так, при объеме выборки $n = 24$ уровни значимости для $A_0 = 0{,}5$ и $E_0 = 1$.

Для иллюстрации применения неголоморфной статистической модели были использованы вариации критических частот, полученных путём ежечасных измерений на мировой сети ионосферных станций в период 5-11 января 1995 года. В этот период действовало 40

расположенных в различных частях света автоматических ионосферных станций (АИС). Массивы ежечасных измерений $\{f_0F2\}$ преобразовывались с помощью соотношения (1) в массивы относительных вариаций $\{\delta f_0F2\}$. Для этой величины рассчитывались начальные моменты

$$\mu_1 = \overline{\delta f_0F2}\,, \mu_n = \overline{\left[\delta f_0F2 - \overline{\delta f_0F2}\right]^n} \tag{7}$$

Через μ_n выражались статистические инварианты A и E:

$$A = \frac{\mu_3}{{\mu_2}^{3/2}}, E = \frac{\mu_4}{{\mu_2}^2} - 3. \tag{8}$$

Таким способом было получено для каждой станции из мировой сети АИС по пять значений A и E. На рис. 1 из работы [5] на плоскости A, E и каждая точка соответствует отдельной суточной выборке.

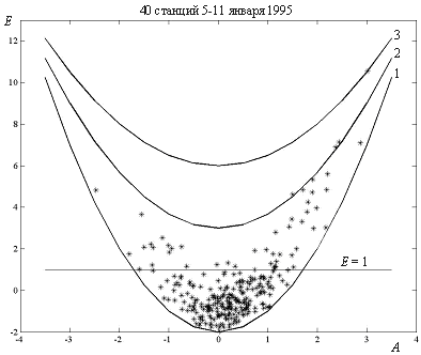


Рис. 1. Значения статистических инвариантов – асимметрии A и эксцесса E по данным суточных выборок всей мировой сети АИС за период 5 - 11 января 1995 г.

На рис. 1 видно, что значительная часть точек находится вне малой окрестности начала координат, где условия (5) не выполняются. На плоскости A, E проведены три параболических зависимости, соответствующие трём частным случаям соотношения

$$E = E_s + G(E_s)A^2. \tag{9}$$

Кривые 1,2,3 на рис. 1 соответствуют частным случаям $E_s = -2, +3, +6$. Для этих случаев известны достаточно простые представления функций $W(\delta f_0F2)$. Так при $E_s = -2$ имеется одна единственная функция $W(\delta f_0F2)$, равная полусумме двух $\delta -$

функций, относящихся к различным уровням. При этом $G(-2)=1$. Случаю $E_s = 3$ соответствует линейно-экспоненциальная функция от модуля аргумента, $G(3)=0,7$. Случай $E_s = 6$ является предельным. Функция $W(\delta f_0F2)$ при этом выражается через функцию Бесселя нулевого порядка третьего рода от мнимого аргумента $K_0(x)$, $G(6)=0,5$. То есть на плоскости $\{E_s, G\}$ определены три точки: на краях интервала измерения E_s, и почти посередине, что позволяет провести интерполирующую кривую, см. рис. 2.

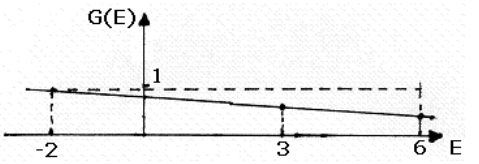


Рис. 2 Зависимость $G(E_s)$

Представляет методологический интерес случай $E_s = 0$. Формула (9) с учетом данных рис. 2 принимает вид:

$$E = 0,8\,A^2 \qquad (10)$$

где приведено округленное значение коэффициента при A^2.

На рис. 3, являющимся фрагментом рис. 1, на фоне «облака» точек, относящихся к выборкам δf_0F2, представлены (чёрными кружочками) значения A и E, относящиеся к выборочным массивам эффективности долгосрочного прогноза МПЧ на односкачковых ионосферных радиотрассах [6]. Существенно, что на рис. 3, кроме фрагментов двух нижних кривых на рис. 1, проведена кривая, определяемая формулой (10).

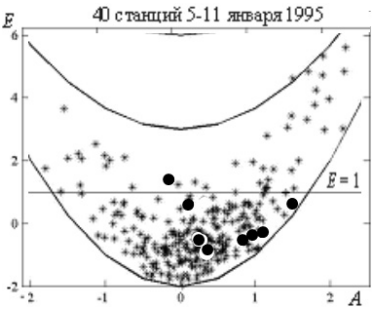


Рис. 3 Значение A и E из (черные кружочки) на фоне «облака» точек A и E для относительных вариаций f_0F2 по мировой сети станций 5 - 11 января 1995 г.

Данные рис. 3 позволяют предположить, что статистическая изменчивость эффективности процедуры долгосрочного прогноза характеризуется двумя ситуациями.

Одна из них – это почти симметричный процесс со значениями эксцесса, заключенными в интервале (-1,+2). Другая ситуация характеризуется заметными асимметриями: точки расположены примерно посередине между кривыми $E = -2 + A$ и $E = 0{,}8\,A^2$.

В заключении рассмотрения следует отметить два обстоятельства. Прежде всего, включение в схему моделирования всего возможного интервала изменений E_s определённым образом завершает формирование двумасштабной версии неголоморфных $W(\delta f_0 F2)$. При этом уточнено важное обстоятельство: эксцесс случайного процесса определяется суперпозицией двух явлений. Это эксцесс симметричного процесса, обусловленный либо его импульсной структурой, либо наличием двух предпочтительных уровней [2].

И второе явление – компонента эксцесса, обусловленная асимметрией процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайворонская Т.В., Сергеенко Н.П., Юдович Л.А. Отклонение критических частот области F от медианных значений // Ионосферные возмущения и их влияние на радиосвязь. М.: Наука. 1971. С. 55-73.
2. Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи. М: Сов. радио. 1961. С. 651
3. Калинин Ю.К., Сергеенко Н.П., Дзвонковская А.Л., Кузнецов В.А. Неголоморфная модель эксцессивно-асимметричных функций плотности вероятности и её использование при контроле планетарной статистики критической частоты области F2 ионосферы с помощью мировой сети АИС // Труды ИПГ им. академика Фёдорова Е.К. Вып. 84. 2006.С. 7-24.
4. Абрамовиц М.Ю, Стеган И. Справочник по специальным функциям М.: Наука. 1979. С. 723.
5. Дзвонковская А.Л., Кузнецов В.А., Сергеенко Н.П. Статистика относительных вариаций критической частоты области *F2* во время магнитных возмущений. // Геомагнетизм и аэрономия. Т.45. №2. 2005.С. 1-4.
6. Батаков А.М. Эффективность долгосрочного прогноза данных вертикального и наклонного зондирования ионосферы. // Труды IV Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь». 2010. С. 796.

УДК 621.396

РАССЛОЕНИЕ ОБЛАСТИ F2 СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ ПРИ НАКЛОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНЫХ РАДИОВОЛН

А.А. Васькин

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

albert_v@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

В конце 1969 г. в дневное время из района города Николаева, на Юге Украины, проводилось излучение на частоте ~12 МГц мощной радиоволны с использованием передатчика мощностью $P=0,5$ *МВт* и антенны с выигрышем антенны $G=10^3$. Направление излучения – на Москву. Расчётная длина «скачка» волнового пучка в тех геофизических условиях составляла примерно 2000 км, что подтверждалось величиной задержки сигналов возвратно-наклонного зондирования ионосферы. Вершина скачка располагалась над Москвой.

В дневное время осуществлялось последовательное включение передатчика на 20 мин с последующей паузой 40 мин. Основной результат эксперимента, опубликованный в работе [1], состоял в появлении на ионограммах, регистрировавшихся на автоматической ионосферной станции (АИС), расположенной в городе Троицке (40 км к Юго-западу от Москвы) новых треков в периоды включения передатчики, которые исчезали через 20-30 мин после его включения.

Треки свидетельствовали о возрастании критической частоты области F2 – величины f_0F2 на величину δf_0F2, составляющую примерно 5 % от невозмущённого значения. Падающие участки на дополнительных трассах свидетельствовали о расслоении области F2 ионосферы.

На рис. 1 представлены типовые ионограммы в период воздействия мощной радиоволны.

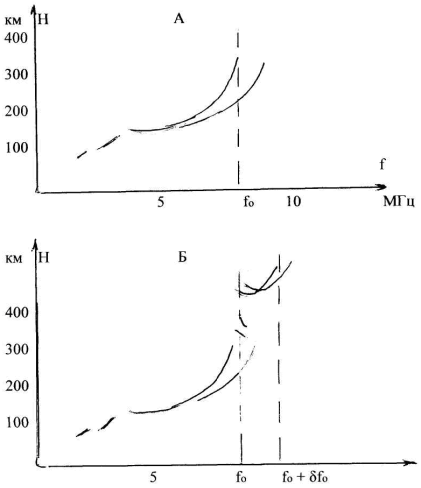


Рис. 1 Ионограммы спокойной (А) и возмущённой (Б) ионосферы, зарегистрированные в средней точке трассы (Подмосковье, ныне город Троицк)

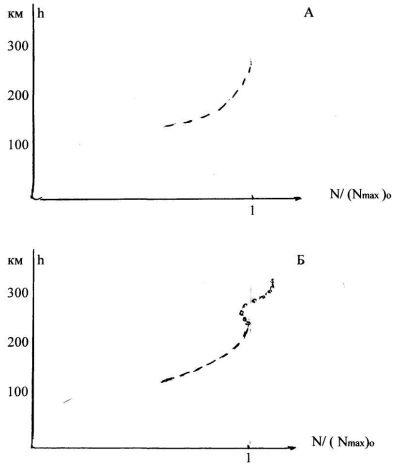


Рис. 2 Невозмущённый N(h) - профиль (А),
Возмущённый N(h) - на интервале высот 200 – 300 км профиль (Б).
Пунктир - невозмущённый профиль, точечная кривая - долина и новая область ионизации, возникшая в результате воздействия мощной волны.

На рис. 2 представлен соответствующий данной ионограмме возмущённый профиль электронной концентрации $n_e(h)$ с «долиной» в интервале высот Δh~200-300 км. Интерпретация данных эксперимента в терминах зависящих от времени решений параболического уравнения амбиполярной диффузии для относительного возмущения электронной концентрации $\delta n_e/n_e$ осуществлялась в работах [2,3].

Однако при $t \to \infty$ используемое решение характеризовалось стремлением возмущения к нулю $\delta n_e \to 0$. Вместе с тем, в этих же работах приводились данные, когда величина δn_e сохранялась при включённом передатчике постоянной в течение нескольких часов. Это на порядок превышает время диффузионной релаксации для объектов с вертикальным размером ~Δh на высоте 200-300 км [4]. Ниже осуществляется интерпретация эксперимента [1] в терминах стационарных функций, не зависящая от времени. Исходной моделью для этого служит всё то же уравнение амбиполярной диффузии [2, 3]. В плоско-слоистом приближении в дневное время уравнения амбиполярной диффузии для электронной концентрации n_e *в* среднеширотной области F2 представлена в виде:

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = q - \gamma n_e + \frac{\partial}{\partial h}\frac{\partial n_e}{\partial h} D \qquad (1)$$

Здесь $n_e(h)$ – профиль электронной концентрации, зависящий от времени t и от координаты h – высоты точки наблюдения над земной поверхностью. Функция $q(h)$ – характеризует ионизацию солнечным излучением. Функция $\gamma(h)$ – характеризует процесс линейной рекомбинации, процесса противоположной ионизации. Третье слагаемое в правой части формулы (1) характеризует процесс переноса частиц по координате h за счёт диффузии. Коэффициент диффузии $D(h)$ является возрастающей функцией [4]. В общем виде при произвольных даже и монотонных функциях q, γ и D уравнения (1), являющееся законом сохранения числа частиц может быть решено только численно. Вместе с тем функции q, γ и D в окрестностях максимума ионизации области F2 можно рассматривать как почти экспоненциальные [5], поэтому для рассматриваемого здесь круга вопросов достаточно рассмотреть приближенный метод решения, обусловленный соотношением:

$$\frac{\partial}{\partial h} D \frac{\partial n_e}{\partial h} \approx -\frac{D}{H_{eff}^2} n_e \qquad (2)$$

При дополнительном условии стационарности решения – независимости от времени. Следует положить

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = 0 \qquad (3)$$

Соотношение (3) выполняется в дневное время в течение нескольких часов вблизи полудня, что соответствует условиям эксперимента [1]. С учётом равенств (2) и (3) дифференциальное уравнение (1), в котором можно заменить частную производную по высоте на обыкновенную производную, принимает вид алгебраического уравнения относительно концентрации n_e. Решение этого уравнения находится элементарно, и имеет вид:

$$n_e(h) = \frac{q}{\gamma + \frac{D}{H_{eff}^2}} \qquad (4)$$

Входящая в соотношения (2) и (4) величина эффективной шкалы H_{eff} может быть выражена через шкалы высот H_q, H_γ, H_D, по крайней мере вблизи высоты максимума $h=h_m$ функции (4).

Далее следует рассмотреть вариацию электронной концентрации Δn_e, возникающую в случае наличия «горячей» вставки $\Delta D(h)$ в зависимости $D(h)$, а именно если теперь обозначить невозмущённую функцию зависимости коэффициента диффузии от высоты через $D_0(h)$ и положить в формуле (4) справедливыми соотношения $D=D_0 + \Delta D$, $\Delta D << D_0$, то не трудно получить что

$$\frac{\Delta n_e}{n_e} = -\frac{\Delta D}{\gamma H_{eff}^2 + D_0} \qquad (5)$$

Если учесть, что вблизи $h=h_m$ слагаемые в знаменателе правой части (5) примерно равны, то это упростит формулу (5)

$$\frac{\Delta n_e}{n_e} = -\frac{1}{2}\frac{\Delta D}{D} \qquad (6)$$

С другой стороны, величина $\frac{\Delta n_e}{n_e}$ пропорциональна отношению [4]

$$\frac{\Delta n_e}{n_e} = \frac{E^2}{E_0^2} \qquad (7)$$

В формуле (7) величина E – напряжённость поля мощной радиоволны в вершине первого скачка, а величина E_0 – специфическая характеристика нелинейных свойств ионосферной плазмы. Для области F2 значение $E_0 \approx 1$ *в/м*, при этом нелинейные эффекты возникают, если $E > 0{,}1E_0$. Этот порог установлен также во время экспериментов на Юге Украины в 1969-1972 г. путём использования

различных сочетаний передатчиков мощностью 0,1 и 0,5 МВт с антеннами, выигрыш которых был равен 10^2, 10^3, $2{\cdot}10^3$. В эксперименте, результаты которого представлены в работе [1], использовались передатчики мощностью $W=0,5$ *МВт* и антенна с выигрышем $G=10^3$. В соответствии с формулой для наземного источника в свободном пространстве [4]

$$E = 0{,}3\frac{\sqrt{PG}}{D}\ в/м \qquad (8)$$

где единицы измерения для P – Вт, для D – км. В рассматриваемом эксперименте излучатель на дальности 1000 км в свободном пространстве создал бы напряжённость поля E_0, равную $E_0 \approx 0{,}2$ *в/м*. В вершине первого скачка напряжённость поля E_1 может быть больше этой величины при доминирующей роли фокусировки волн. Величина E_1 может быть и меньше E_0 при доминирующей роли затухания в области *D* и *E* дневной ионосферы. Вместе с тем, данные, приведённые в работе [3], свидетельствуют о том, что мощные пучки «прожигают» область *E*. В благоприятных условиях эксперимента [1] можно рассмотреть минимальную оценку фактора фокусировки на основе представления о том, что в этой области суммарное поле складывается из поля падающей и поля отражённой волн. То есть можно положить, что $E_1 \approx 2E_0$. В результате получается оценка $\frac{\Delta n_e}{n_e} \approx 0{,}16$, и соответственно относительное уменьшение плазменной частоты в «долине» получается не менее – 8 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведённого рассмотрения можно сделать вывод о том, что при использовании наиболее мощных современных средств воздействия наклонным пучком на область F2 происходит её расслоение и образование «долины» глубиной до 10 %. Данное антропогенное явление существенно для «скачкового» распространения декаметровых радиоволн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов В.Ф., Калинин Ю.К., Рождественская Л.Л., Шустов Э.И. Увеличение максимально применимой частоты при наклонном воздействии мощной радиоволны // Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Алма-Ата, Тез. докл. М.: Наука, с.101, 1987
2. Калинин Ю.К., Кузьменко М.Г., Романчук А.А., Сергеенко Н.П. Воздействия ионосферных макромасштабных неоднородностей на радиосигналы в условиях высокочастотного наклонного нагрева // Геомагнетизм и аэрономия, № 5, с. 89, 2000 г.
3. Калинин Ю.К., Васькин А.А., Горенко В.Е., Платонов Т.Д. Вопросы ионосферного распространения мощных радиоволн декаметрового диапазона // Труды ИПГ, вып. 84, с. 25, 2006 г.
4. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М.: Наука, 568 с., 1979
5. Иванов-Холодный Г.С., Калинин Ю.К. Диффузионный перенос ионосферных неоднородностей // геомагнетизм и аэрономия, Т. 22, № 6, с. 1020. 1982

УДК 550.338.2

ЗАВИСИМОСТЬ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ foF2 В РАЗЛИЧНЫЕ МОМЕНТЫ СУТОК ОТ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

А.В. Константинова

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

anna@tabulata.ru

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе анализировалось изменение отношений критических частот слоя F2 с изменением уровня солнечной активности для летнего и зимнего сезона для разных пар моментов местного времени. Целью работы являлось получить надежные зависимости отношений foF2(день)/foF2(ночь) от солнечной активности для дальнейшего анализа возможных трендов foF2(день)/foF2(ночь) после "граничной даты" и уточнить картину физических процессов, контролирующих поведение слоя F2 в разное время суток, и их связь с солнечной активностью.

Анализ был проведен для 14 станций восточного полушария, которые чаще всего используются для анализа поведения слоя F2. Станции расположены в интервале географических широт от 30 до 60^{O} (рис. 1). Станции, расположенные на низких ($\varphi < 30^{O}$) и высоких ($\varphi > 60^{O}$) широтах не рассматривались, поскольку в высоких и низких широтах на поведение критической частот foF2 могут влиять дополнительные процессы (высыпания частиц, электрические поля и др.).

По аналогии с работами [1 – 3] по поиску параметров слоя F2 в данной работе для каждого отношения foF2(ночь)/foF2(день) мы брали среднее значение по всем дням за два периода: январь-февраль и июнь-июль. Были введены ограничения на геомагнитную активность: для усреднения рассматривались дни с Ap меньше 6, 16 и 30.

В этой работе рассматривались результаты, полученные для Ap < 30, т.е. для спокойных, или слабо возмущенных в геомагнитном отношении дней.

Рис. 1

Чтобы избавиться от влияния солнечной активности, для периода до 1980 г. строилась зависимость foF2(ночь)/foF2(день) от индекса солнечной активности F(10.7). Эта зависимость аппроксимировалась полиномом 3-й степени. Полученная аппроксимация рассматривалась как модель зависимости от солнечной активности для всех лет.

Величины foF2 брались из банков ионосферных данных, приводимых в международных центрах данных в формате iwg. Для расчета средних величин foF2(ночь)/foF2(день) для данного года и ограничения по Ap использовалась специально разработанная программа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

18:00 LT и 06:00 LT

Результаты анализа зависимости foF2(18)/foF2(06) приведены в таблице 1.

В таблицах приведено словесное описание характера хода foF2(ночь)/foF2(день) с F10.7 и коэффициент определенности R^2, который позволяет оценить степень статистической значимости полученной зависимости по критерию Фишера.

Показано, что в зимний период в северном полушарии (январь-февраль) и южном (июнь-июль) наблюдается рост foF2(18)/foF2(06) с ростом F10.7. Величины R^2 лежат в пределах 0.71-0.90, что обеспечивает статистическую значимость полученных зависимостей не менее 99%. Примеры зависимости foF2(18)/foF2(06) от F10.7 для зимнего периода приведены на рис. 2.

Таблица 1. Зависимость отношения *foF*2(18)/*foF*2(06) от индекса солнечной активности *F*(10.7)

Станция	январь-февраль	R^2	июнь-июль	R^2
Ленинград	рост	0.45	разброс точек	0.40
Свердловск	рост	0.86	разброс точек	0.12
Томск	рост	0.86	разброс точек	0.26
Москва	рост	0.87	разброс точек	0.03
Юлиусру	рост	0.61	разброс точек	0.22
Иркутск	рост	0.89	падение	0.60
Дурбес	рост	0.76	падение	0.54
Ланнион	рост	0.46	падение	0.35
Пуатье	рост	0.78	падение	0.78
Рим	рост	0.72	падение	0.70
Ташкент	рост	0.80	падение	0.51
Ашхабад	рост	0.86	падение	0.68
Канберра	падение	0.51	рост	0.85
Хобарт	разброс точек	0.07	рост	0.71

Причины хорошо выраженного роста величины foF2(18)/foF2(06) от F10.7 зимой заключаются, по-видимому, в том, что 18:00 LT приходится на момент через несколько часов после захода Солнца. В это время электронная концентрация в слое F2 представляет собой остаток дневной величины NmF2, который уменьшается в результате рекомбинации и может зависеть также от подъема слоя за счет вертикального дрейфа, вызванного горизонтальными ветрами. А так как дневная ионизация прямо зависит от солнечной активности, а интенсивность ветров не ослабевает с ростом активности, то ожидается рост foF2(18) с ростом F10.7. В то же время в момент времени 06:00 LT зимой приходится на конец ночи, когда слой F2 истощен и электронная концентрация достигает своего минимума, поддерживаемого потоками из плазмосферы. Поэтому величина foF2(06) должна слабо изменяться с солнечной активностью, а отношение foF2(18)/foF2(06) должно зимой демонстрировать хорошо выраженный рост, что и наблюдается в табл. 1 и на рис. 2.

Летом же картина не выглядит такой же согласованной как для зимнего периода (рис. 3).

Для большинства станций наблюдается падение отношения foF2(18)/foF2(06) с ростом солнечной активности. На некоторых станциях это падение хорошо выражено и статистически значимо, на других наблюдается разброс точек и ход с F10.7 либо слабо выражен, либо отсутствует. В целом, летом, в половине рассмотренных случаев наблюдается либо отсутствие зависимости foF2(18)/foF2(06) от F10.7 (разброс точек), либо слабое падение.

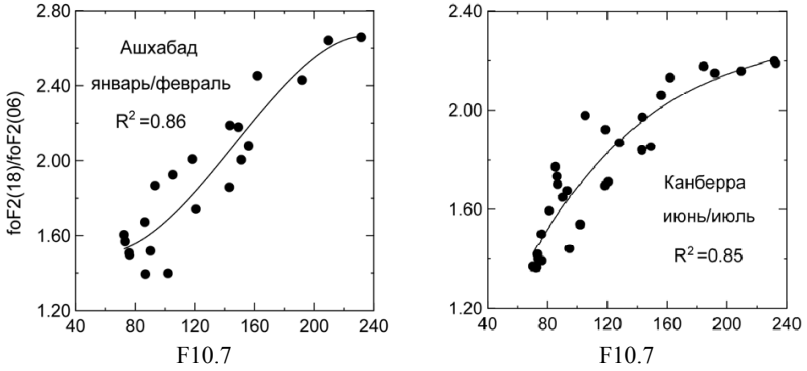


Рис. 2. Примеры зависимости foF2(18)/foF2(06) от F10.7 для зимнего периода. Точки – экспериментальные данные, кривые – аппроксимация точек полином третьей степени.

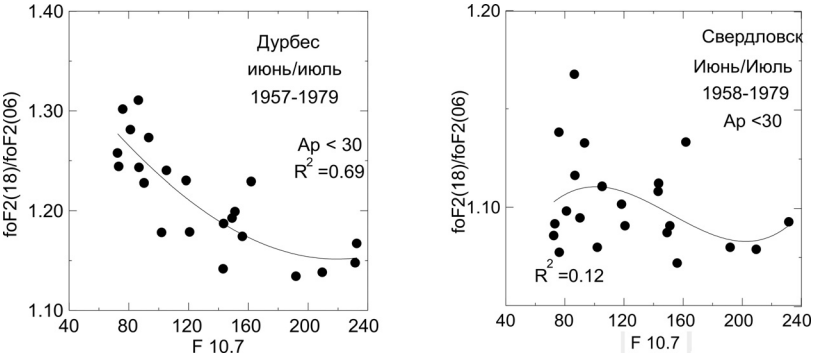


Рис. 3. Примеры зависимости foF2(18)/foF2(06) от F10.7 для летнего периода.

04:00 LT и 16:00 LT

Результаты анализа зависимости foF2(04)/foF2(16) от F10.7 приведены в табл. 2. и на рис. 4, 5. Как видно из таблицы, для зимы на всех станциях наблюдается падение отношения foF2(04)/foF2(16) с ростом F10.7, а летом – рост.

Зимой 04:00 LT приходит на глубокую ночь, когда ионосфера истощена рекомбинацией, и лишь поток из плазмосферы поддерживает ее. Этот поток немного усиливается с ростом солнечной активности. В 16:00 LT зимой представляет собой заходные условия. Влияние ионизации солнечным ультрафиолетовым излучением (прямо

зависящим от F(10.7)) все еще существует, хотя оно слабее, чем в околополуденные часы. Кроме того, на величину NmF2 оказывает уменьшение коэффициента рекомбинации β [4], которое усиливают эффект роста NmF2 с солнечной активностью. И, хотя foF2 в 04:00 LT тоже должна расти с ростом солнечной активности, рост foF2 в 16:00 LT оказывается сильнее, что и приводит зимой к общему падению foF2(04)/foF2(16) с ростом F(10.7). Таким образом, результаты анализа foF2(04)/foF2(16) показывают, что рост потоков из плазмосферы слабее зависит от солнечной активности чем суммарный эффект роста ультрафиолетового излучения и падения β.

Стоит обратить внимание на характерные загибы кривых для ряда станций. Эти загибы говорят о том, что существует эффект насыщения в росте foF2(16) [4]. Причина такого эффекта в зимний период пока не ясна.

В летний период наблюдается рост foF2(04)/foF2(16) от F10.7. Возможно это объясняется тем, что утренний момент времени попадает на предвосходный пик электронной концентрации, который сильнее зависит от F10.7, чем дневные значения foF2(16).

Таблица 2. Зависимость отношения foF2(04)/foF2(16) от индекса солнечной активности F(10.7)

Станция	январь-февраль	R^2	июнь-июль	R^2
Ленинград	падение	0.64	рост	0.80
Свердловск	падение	0.74	рост	0.67
Томск	падение	0.89	рост	0.86
Москва	падение	0.74	рост	0.70
Юлиусру	падение	0.64	рост	0.80
Иркутск	падение	0.82	рост	0.76
Дурбес	падение	0.75	рост	0.82
Ланнион	падение	0.84	рост	0.85
Пуатье	падение	0.87	рост	0.88
Рим	падение	0.87	рост	0.96
Ташкент	падение	0.82	рост	0.89
Ашхабад	падение	0.83	рост	0.85
Канберра	рост	0.87	падение	0.85
Хобарт	рост	0.62	падение	0.74

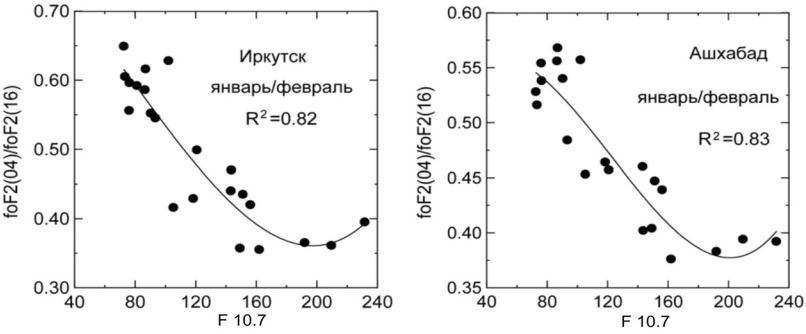


Рис. 4. Примеры зависимости foF2(04)/foF2(16) от F10.7
для зимнего периода

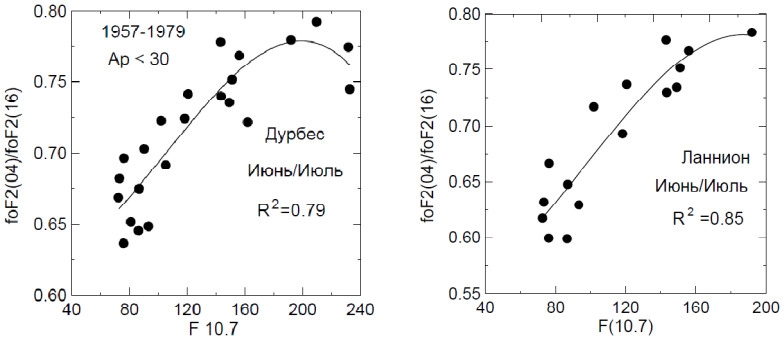


Рис. 5. Примеры зависимости foF2(04)/foF2(16) от F10.7
для летнего периода

22:00 LT и 10:00 LT

Результаты анализа зависимости foF2(22)/foF2(10) от F10.7 приведены табл. 3. и на рис. 6,7.

Таблица 3. Зависимость отношения *foF*2(22)/*foF*2(10) от индекса солнечной активности *F*(10.7)

Станция	январь-февраль	R^2	июнь-июль	R^2
Ленинград	цепная линия	0.86	нет зависимости	0.42
Свердловск	цепная линия	0.76	падение	0.76
Томск	цепная линия	0.92	цепная линия	0.39
Москва	цепная линия	0.81	падение	0.65
Юлиусру	цепная линия	0.54	падение	0.30
Иркутск	цепная линия	0.72	падение	0.28
Дурбес	цепная линия	0.89	нет зависимости	0.04
Ланнион	падение	0.72	нет зависимости	0.03
Пуатье	цепная линия	0.84	нет зависимости	0.88
Рим	цепная линия	0.88	синусоида	0.52
Ташкент	цепная линия	0.79	синусоида	0.54
Ашхабад	цепная линия	0.85	падение	0.51
Канберра	рост	0.75	падение	0.92
Хобарт	рост	0.78	нет зависимости	0.51

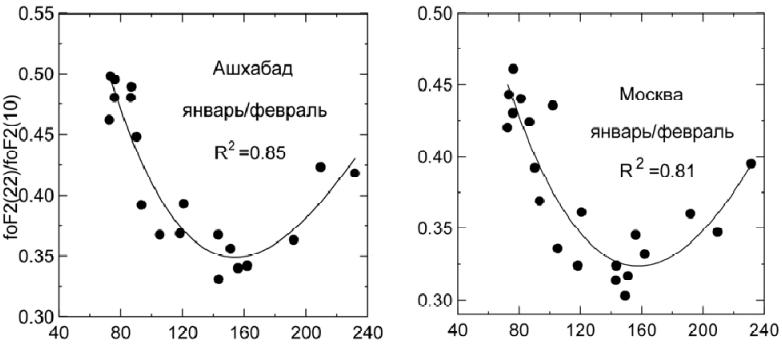


Рис. 6. Примеры зависимости foF2(22)/foF2(10) от F10.7 для зимнего периода

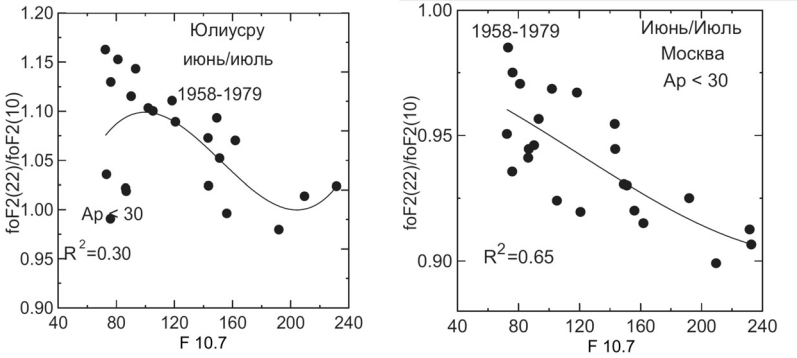


Рис. 7. Примеры зависимости foF2(22)/foF2(10) от F10.7 для летнег периода

В зимнее время зависимость носит характер цепной линии. Отношение foF2(22)/foF2(10) при малых F10.7 падает с ростом солнечной активности, а после примерно F10.7=120 – 160 начинает расти. Автору не известны публикации, в которых упоминалось бы существование такой зависимости.

Летом нет ярко выраженной картины изменения foF2(22)/foF2(10) с солнечной активностью. Это можно объяснить тем, что момент времени 10:00 LT приходится на дневное время, а 22:00 LT недалеко отстоит от времени захода Солнца, и поэтому процесс уменьшения NmF2 за счет рекомбинации играет незначительную роль.

ВЫВОДЫ

18:00 LT и 06:00 LT. В зимний период наблюдается рост отношения foF2(18)/foF2(06) с ростом F10.7. В летний период в половине рассмотренных случаев наблюдается либо отсутствие зависимости foF2(18)/foF2(06) от F10.7 (разброс точек), либо слабое падение.

04:00 LT и 16:00 LT. Для зимы на всех станциях наблюдается падение отношения foF2(04)/foF2(16) с ростом F10.7, а летом – рост.

22:00 LT и 10:00 LT. В зимнее время зависимость носит характер цепной линии. Отношение foF2(22)/foF2(10) при малых F10.7 падает с ростом солнечной активности, а после примерно F10.7=120–160 начинает расти. Летом не наблюдается ярко выраженной картины изменения foF2(22)/foF2(10) с солнечной активностью.

В целом, характер зависимости foF2(T1)/foF2(T2) от F10.7 удается объяснить известными аэрономическими процессами, за исключением поведения foF2(22)/foF2(10) в зимнее время. Это

поведение может свидетельствовать о существовании дополнительных (неизвестных пока) процессов в физике слоя F2.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 11-05-00102а

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Danilov A.D. Time and spatial variations of the foF2(night)/foF2(day) values // Adv Space Res. V. 43. No. 11, P. 1786-1793. 2009b.
2. Данилов А.Д., Ванина-Дарт Л.Б., Пространственные и временные вариации отношения foF2(ночь)/foF2(день): уточнение ряда эффектов// Геомагнетизм и аэрономия. Т. 48. No. 2, С. 228-240. 2008а.
3. Данилов А.Д., Ванина-Дарт Л.Б., Критические частоты foF2 как индикатор трендов термосферной динамики // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 48. No. 6, С. 810-822. 2008б.
4. Mikhailov A. and Perrone L., On the mechanism of seasonal/solar cycle NmF2 variations: A quantative estimate of the main paramerers contribution using ISR observations, J. Geophys. Res., 116 doi: 10.1029/2010JA016122

УДК 551.510.535:629.783

ЛОКАЛЬНАЯ АДАПТАЦИЯ МОДЕЛИ IRI ПО ДАННЫМ ВНЗ К РЕАЛЬНЫМ ИОНОСФЕРНЫМ УСЛОВИЯМ

К.А Тетерин

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

electron77@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

При коротковолновой (КВ) радиосвязи и радиолокации широкое применение нашли эмпирические модели ионосферы, которые вместе с моделированием распространения декаметровых радиоволн в ионосфере позволяют рассчитать необходимые характеристики сигналов (дальность скачка по земле, углы прихода, групповой путь). Широко известна эмпирическая модель ионосферы IRI [1]. Среди исходных данных для расчета высотных профилей электронной концентрации в IRI используются глобальный ионосферный индекс ($IG12$) и число солнечных пятен ($RZ12$). По данным ITU-R (отчет Н.3.2.1.) точность определения плотности электронной концентрации моделью IRI 2007 на высотах от 200 до 1000 км составляет 15-25% для низких и средних широт ($> 60^0$). Такая точность может оказаться недостаточной для оперативной работы, и требуется адаптация модели к текущему состоянию ионосферы. Эту проблему можно преодолеть путем локального адаптирования модели к текущему состоянию ионосферы с помощью данных вертикального зондирования (ВЗ), но данные ВЗ характеризуют состояние ионосферы лишь в небольшой окрестности станции, что недостаточно при осуществлении радиосвязи на дальние расстояния, либо нужно использовать сеть станций ВЗ, что не всегда возможно. Поэтому в данной работе рассматривается метод адаптации по данным возвратно-наклонного зондирования ионосферы (ВНЗ) [2], так как эти данные характеризуют состояние ионосферы вдоль радиотрасс, используемых в радиосвязи.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА

При ВНЗ, как один из вариантов, в широком угломестном и азимутальном диапазонах излучается последовательно набор частот. Излученный в небо сигнал, распространяясь в ионосфере, в результате дифракции может повернуться в сторону земли. Поскольку поверхность земли негладкая, на ней произойдет рассеяние сигнала во все стороны, часть рассеется в обратном направлении и будет принята приемником, находящемся возле излучателя, или на некотором удалении от него (разнесенное ВНЗ). С помощью цифрового формирования диаграммы направленности (ЦФДН) принятый сигнал можно разделить на сигналы, пришедшие с разных азимутов. Поскольку излучение осуществляется в широком угломестном диапазоне, то по принятому сигналу можно определить наименьший групповой путь, или наименьшее время распространения сигнала для данных частоты и азимута. Облучая ионосферу набором частот, можно получить экспериментальную дистанционно-частотную характеристику (ДЧХ) в широком азимутальном секторе, характеризующем состояние ионосферы над всей той областью на земле, ионосфера над которой влияет на распространение радиоволн при радиолокации и радиосвязи в заданном азимутальном диапазоне (рис. 1), и в которой можно проводить адаптацию модели IRI.

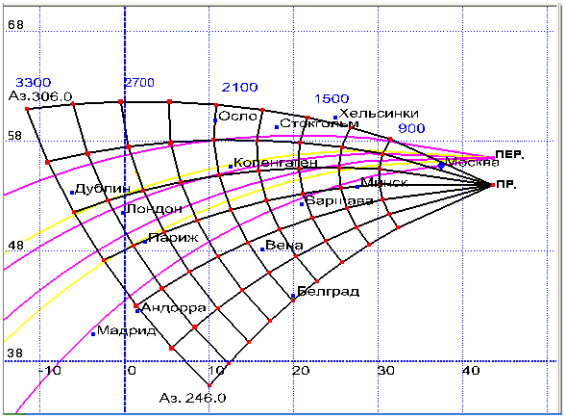


Рис. 1

На рис. 1 изображена схема разнесенного возвратно-наклонного зондирования. Пер. – передатчик, пр. – приемник, широты, долготы и азимуты в градусах, расстояние до приемника в км. Вертикальные пунктирные линии – отсчеты долготы, горизонтальные

– отсчеты широты, черные линии, идущие от приемника, – азимутальные направления.

С помощью программы, моделирующей распространение радиоволн в ионосфере, и модели IRI при заданных значениях индексов $IG12$ и $RZ12$ рассчитывается модельная ДЧХ. Эти два параметра оптимизируются так, чтобы модельная ДЧХ была как можно ближе к экспериментальной в смысле выбранного критерия адаптации. Таким образом, сначала станция ВНЗ осуществляет акт ВНЗ, с помощью полученных данных производится адаптация либо по всем интересующим азимутам, либо по нескольким с распространением результата на остальные. После этого получается адаптированная в нужной области модель ионосферы, которую эта же станция ВНЗ будет использовать в своей работе. По истечении определенного срока, например, времени стационарности ионосферы адаптацию можно провести снова.

КРИТЕРИЙ АДАПТАЦИИ

Для адаптации используются экспериментальные и модельные ДЧХ. В качестве критерия адаптации ранее применялся критерий минимума среднего модуля невязки экспериментальной и расчетной ДЧХ [3], но этот подход не учитывает ситуации, когда модельная ДЧХ существует в большем или меньшем диапазоне частот из-за отличия модельной ионосферы от истинной. Так как задача решается в отсутствии данных о виде функции потерь и данных об априорных вероятностях того, что ионосфера соответствует модельной с заданными параметрами, то из байесовского критерия вытекает критерий максимального правдоподобия [4], который и предлагается использовать:

$$P\left(x\middle|A_{opt}\right) \geq P(x|A)\ \forall A,$$

где $P(x|A)$ - условная вероятность появления данных отметок x, соответствующих экспериментальной ДЧХ после принятия и обработки сигнала ВНЗ в присутствии помех при том, что истинная ионосфера соответствует модельной из IRI с вектором параметров A, A - вектор параметров модели IRI, подлежащий определению: $A = \{IG12, RZ12\}$, A_{opt} - оптимизированный вектор параметров. $P(x|A)$ так же называется функцией правдоподобия [4]. При вычислении условной вероятности $P(x|A)$ отличие модельной ДЧХ от экспериментальной обусловлено случайными ошибками измерения сигналов экспериментальной и расчета модельной ДЧХ, тогда разности экспериментальных и модельных минимальных времен

задержек рассматриваются как случайные величины с нулевым средним.

$$P(x|\boldsymbol{A}) = c_1 \prod_{k=1}^{n1} (p_{c.d(k)} p(\tau_{mod(\boldsymbol{A},k)} - \tau_{\exp(k)})(1 - p_{f.d(k)}) + (1 - p(\tau_{mod(\boldsymbol{A},k)} - \tau_{\exp(k)}))(1 - p_{c.d(k)}) p_{f.d(k)})$$

$$c_1 = C_2 \prod_{k=n1+1}^{N} (1 - p_{c.d(k)})(1 - p_{f.d(k)}) \prod_{k=N+1}^{N2} (1 - p_{f.d(k)}) p_{f.d(k)} \prod_{k=N2+1}^{N3} (1 - p_{f.d(k)})^2$$

$$C_2 = \prod_{k=1}^{N3} (1 - p_{f.d(k)})^2$$

где $p_{c.d(k)}$ - условная вероятность правильного обнаружения сигнала в элементе разрешения по дальности на -ой частоте; $\tau_{mod(\boldsymbol{A},k)}$- минимальное время задержки сигнала на k-ой частоте, рассчитанное по модели IRI с вектором параметров A, $\tau_{\exp(k)}$ -экспериментальное минимальное время задержки на k-ой частоте; $p_{f.d(k)}$ - условная вероятность ложного обнаружения сигнала на k-ой частоте. Частоты с индексами $k = 1 \dots N$ - это те частоты, на которых есть модельное распространение. Из них частоты с индексами $k = N1 + 1 \dots N$ - частоты, на которых не регистрируются сигналы ВНЗ. Частоты с индексами $k = N + 1 \dots N2$ - частоты, на которых нет модельного распространения, но фиксируются сигналы ВНЗ, и частоты с индексами $k = N2 + 1 \dots N3$ - частоты, на которых не регистрируются сигналы ВНЗ, и нет модельного распространения. Пусть отметки, соответствующие экспериментальной ДЧХ, получены с дискретом квантования $\Delta\tau$, тогда $p(t)$ - вероятность попадания отклонения модельной от экспериментальной ДЧХ в интервал: $[t - \frac{\Delta\tau}{2}, t + \frac{\Delta\tau}{2})$. Принимая плотность распределения вероятности ошибок вида: $\rho(\tau) = Cexp(-\frac{\tau^2}{b^2})$ при $|\tau| < (S + 0.5)\Delta\tau$ и $\rho(\tau) = 0$ при $|\tau| \geq (S + 0.5)\Delta\tau$, получим: $p(t) = \int_{t-\Delta\tau/2}^{t+\Delta\tau/2} \rho(x)dx$, где b - параметр гауссова распределения. Коэффициент C_2 является константой и не зависит от модельной ДЧХ, поэтому при определении максимума $P(x|A)$ им пренебрегаем. Если разница $\tau_{mod(\boldsymbol{A},k)} - \tau_{exp(k)}$ не укладывается в интервал, определяемый выражением:

$$-(S + 0.5)\Delta\tau \leq \tau_{mod(\boldsymbol{A},k)} - \tau_{exp(k)} < (S + 0.5)\Delta\tau,$$

то данная экспериментальная отметка не соответствует данной модели, а частота относится к частотам, на которых не

зарегистрирован сигнал ВНЗ. Нормировочный коэффициент C получается из соотношения: $\int_{-(S+0.5)\Delta\tau}^{(S+0.5)\Delta\tau} \rho(x)dx = 1$.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Нужно рассмотреть вопрос о корректности предложенного подхода и его погрешности. Корректность проверялась путем моделирования. Рассматривался случай, когда отсутствуют случайные ошибки измерения экспериментальных ДЧХ, и истинная ионосфера соответствует модельной при определенном векторе параметров A. В качестве экспериментальных данных бралось модельное решение (модельная ДЧХ) при векторе параметров $A_0 = \{IG12_0, RZ12_0\}$, взятом из прогноза. Пределы изменения индексов $IG12$ и $RZ12$ брались с учетом их вариаций за 1958 - 2009 г. и составляли [-14, 173] по $IG12$ и [-15, 270] по $RZ12$, что перекрывает диапазон их изменения за указанные годы. Для каждого значения из этих интервалов с шагом 0.2 по $IG12$ и 7.5 по $RZ12$ рассчитывались модельная ДЧХ и функция правдоподобия $P(x|A)$. Моделирование проводилось в условиях высокой ($RZ12 \approx 150$), средней (≈ 70) и низкой (≈ 7) солнечных активностей, для середины лета, зимы, весны и осени, для 8:00 ч., 14:00 ч., 20:00 ч. и 24:00 ч. по местному времени.

В качестве примера типичный результат представлен на рис. 2 и 3. На них изображены зависимости функции правдоподобия от вектора параметров модели.

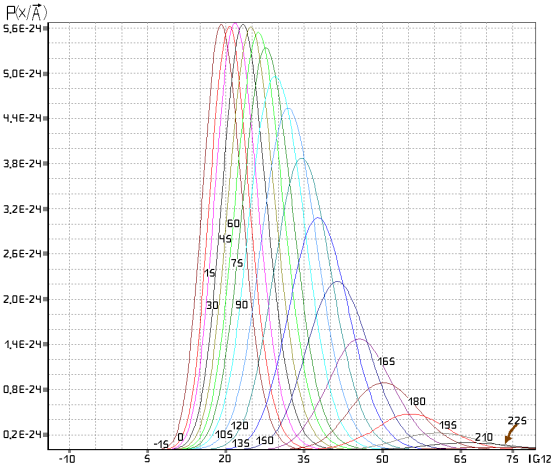


Рис. 2. Зависимость функции правдоподобия от $IG12$ и $RZ12$. Индекс $IG12$ изменялся в интервале: [-14, 79.4].

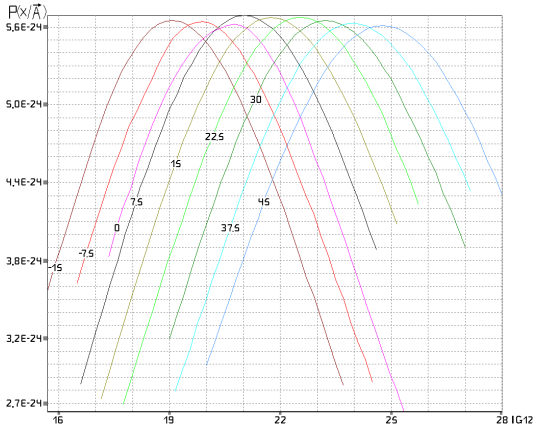


Рис. 3. Зависимость функции правдоподобия от $IG12$ и $RZ12$ в области ее максимума

Истинное состояние ионосферы соответствует модельной на 19.10.2006, 14:00 ч. по местному времени с $A_0 = \{20.99, 7.15\}$, взятом из прогноза. По оси абсцисс – глобальный ионосферный индекс, разные кривые соответствуют числам солнечных пятен, указанным на рисунке. По оси ординат – значение функции правдоподобия $P(x|A)$.

Кривые с индексами $RZ12$, кратными 7.5, на рисунке не показаны. Вид кривых при $79.6 \leq IG12 \leq 173$ так же не показан, так как в этой области они монотонно убывают. На рис. 3 показан детальный результат в области максимума $P(x|A)$.

Видно существование единственного максимума $P(x|A)$, хотя и не ярко выраженного. Для данного случая полученные в результате адаптации параметры есть: $IG12_{opt} = 21$ и $RZ12_{opt} = 7.5$. Средняя ошибка по всем реализациям по $IG12$ составляет не более 1.5%, а по $RZ12$ - не более 6%. По результатам моделирования можно сделать вывод, что обратная задача при предложенной регуляризации и сделанных ограничениях имеет единственное решение в смысле выбранного критерия адаптации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложен критерий адаптации вектора параметров модели ионосферы IRI ($IG12$ и $RZ12$) к реальным измерениям ДЧХ ВНЗ ионосферы, учитывающий частотный интервал существования ДЧХ, что позволяет сравнивать ДЧХ разной длинны при сильном отличии модельной ионосферы от экспериментальной.

2. На основе моделирования показана корректность (единственность решения) обратной задачи ВНЗ при предложенных регуляризации и критерии адаптации и сделанных ограничениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bilitza D., Reinisch B.W. International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters. // Adv. Space Res. 42 ( ), 599-609 2008.
2. Чернов Ю.А. Возвратно-наклонное зондирование ионосферы. М.: СВЯЗЬ, 1971.
3. Ахмедшин Р.Л., Калинин Ю.К., Платонов Т.Д., Рождественская Л.Л. Обратная задача возвратно-наклонного зондирования для трехслойной ионосферы. // Геомагнетизм и аэрономия, 1991, т. 31, №6, с. 1021.
4. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники, книга вторая. М.: СОВЕТСКОЕ РАДИО, 1968.

УДК 550.388.2

ШИРОТНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИОНОСФЕРЫ И ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ МАКСИМАЛЬНО ПРИМЕНИМЫХ ЧАСТОТ ОБЛАСТИ F2 НА ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ ТРАНСПОЛЯРНЫХ ТРАССАХ

А.В. Щелкалин

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

alekxsch@mail.ru

Широтная изменчивость ионосферы является существенным фактором при определении максимально применимых частот области $F2$ для корреспондентов, находящихся в разных полушариях и использующих трансполярные трассы. При этом МПЧ - $F2$ - 4000 на прямых и обратных радиотрассах могут существенно различаться. В качестве примера выбрана трасса Новороссийск - Западное побережье США.

Для трассы Новороссийск - Западное побережье США были проведены расчёты МПЧ - $F2$ - 4000 для прямой и обратной радиоволн с использованием данных за май 1980 г (W = 155) [1] и данных за сентябрь 1991 г. (W = 111) [2]. Результаты приведены в таблице, где содержатся соответствующие данные о суточной изменчивости максимально применимой частоты (в МГц) для обратной ($МПЧ_1$) и прямой ($МПЧ_2$) трасс. Из данных, приведенных в таблице, следует, что МПЧ обратной трассы, проходящей через Южную Полярную область, существенно выше, чем МПЧ прямой трассы, проходящей через Северную Полярную область.

Ниже приведены значения максимально применимых частот на прямой (индекс 1) и обратной (индекс 2) трансполярных трассах, МГц – округлённо

май 1980, W = 155

LT,часы	0	4	8	12	16	20
$МПЧ_1$	30	27	26	23	21	25
$МПЧ_2$	17	17	21	18	15	17

сентябрь 1991, W = 111

LT,часы	0	4	8	12	16	20
$МПЧ_1$	24	18	36	37	32	32
$МПЧ_2$	15	13	24	16	28	23

Разница в МПЧ между трассами 1 и 2 образуется за счёт того, что для трассы 1 локализация «входа» и «выхода» волн в ионосферу относится к участкам с более высокой критической частотой f_0F2. Для трассы 1 эти участки расположены южнее, и различие между кривыми 1 и 2 обусловлено широтной изменчивостью ионосферы.

Сразу следует отметить немаловажное обстоятельство. Массовое использование долгосрочного прогноза МПЧ показало, что для ионосферных трасс протяжённостью D < 4 – 5 тыс. км он даёт несмещённую оценку значений МПЧ на среднеширотных трассах.

Однако, на более протяжённых трассах систематически наблюдаются более высокие МПЧ по сравнению с прогнозируемыми. В особенности, когда вдоль таких трасс имеет место значительная изменчивость величины f_0F2 – критической частоты области $F2$. Стандартные процедуры расчёта МПЧ основываются на представлениях о симметричных скачках. Для скачка с номером m определяется $МПЧ_m$, пропорциональная значению критической частоты в вершине скачка. При этом m = 1, 2,…n, где n – полное число скачков на трассе. И если в качестве механизма распространения радиоволн выбирается n - скачковый, то в качестве $МПЧ_{тр}$ всей трассы выбирается минимальный элемент множества $\{МПЧ_m\}$ на отдельных скачках.

$$МПЧ_{тр} = inf\ \{МПЧ_m\} \quad (1)$$

Действительно, нарушение соотношения (1) означает, что выбор рабочей частоты f_p выше, чем МПЧ на каком-либо скачке, означает, что именно на этом участке трассы волновой пакет выйдет за пределы ионосферы. Вместе с тем экспериментальные данные свидетельствуют о том, что на протяжённых трассах ($D > a$, где a – радиус Земли), правило (1) не справедливо. В практике радиопрогнозирования давно [3] известна альтернативная схема, согласно которой величина $МПЧ_{тр}$ выбирается, как минимальная величина из $МПЧ_1$ – на первом скачке и $МПЧ_n$ – на последнем.

$$МПЧ_{тр} = inf\ \{МПЧ_1, МПЧ_n\} \quad (2)$$

Соотношение (2) называют «методом двух точек» или, что менее корректно, бесскачковым механизмом, без соотнесения к так называемому лучу Педерсена. Правило (2) обобщалось в работе [2], где предлагалось внутрь знака множества { } в формуле (2) ввести величину $2МПЧ_{n/2}$, то есть удвоенное значение МПЧ для середины трассы – метод трёх точек. Тем самым предлагалось ставить «защиту» от вырождения канала, оторванного от земной поверхности. На рис 1 из [2] представлены данные о суточной изменчивости МПЧ - $F2$ - 4000 для обратной (1) и прямой (2) волн для условий лета 1980 г. По оси абсцисс дано время (московское), по оси ординат – частота, МГц.

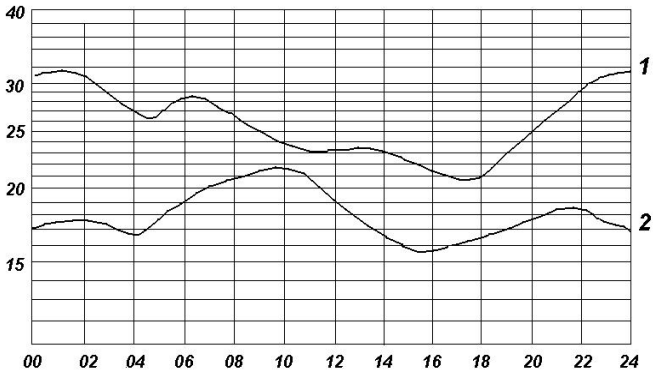


Рис. 1 Суточная изменчивость МПЧ - $F2$ - 4000 на обратной (1) и прямой (2) трассах Новороссийск - Западное побережье США для условий лета 1980 г.

Эффективность метода «двух и трёх точек» была подтверждена многочисленными экспериментальными данными. [4]. Однако обоснование этих методов выходит за рамки геометрооптического приближения, используемого в [1]. В связи с этим в [5; 6] была выдвинута важная гипотеза. А именно, геометрооптическую формулу для описания поля на протяженных ионосферных трассах в виде сферически расходящихся «скачковых» пучков радиоволн следует дополнить еще одним слагаемым, которое «отвечало» бы за заполнение энергией соответствующих мертвых зон и обладало бы погонным затуханием, характерным для КС. Это дифракционное слагаемое, которое можно было бы назвать дифракционной волной E_d, было предложено в виде:

$$E_d = E_{1/2}\, k(f)\, \frac{e^{j\varphi D}}{\sqrt[4]{sin^2\frac{D}{a}+\alpha}}\, G(h,D) \qquad (3)$$

Здесь $E_{1/2}$ – напряженность поля в вершине первого скачка, рассчитанная по методу геометрической оптики. Функция $k(f)$ – коэффициент трансформации первичной сферической волны в коническую волну Лежандра.

Величина α – феноменологическое слагаемое порядка 10^{-4}, обеспечивающее конечное значение E_{KC} на антиподных и кругосветных трассах Функция $G(h, D)$ – высотный множитель, являющийся медленной функцией D.

Комплексная фаза $\varphi(D)$ определяется интегралом по D от приведенного показателя преломления $\overline{n}$, равного реальной части от квадратного корня из комплексной приведенной диэлектрической проницаемости $\overline{\varepsilon}$ на высоте ионосферного канала h_k [5]. Мнимая часть $\overline{n}$ определяет погонное затухание на протяженных трассах. Вклад в E_d «многоскачковых» полей существенно ниже (- 20 дБ), чем $E_{1/2}$. На протяженных трасах, таким образом, полное поле представлялось в виде:

$$E_t = E_h + E_d, \tag{4}$$

где первое слагаемое рассчитывается по методу геометрической оптики, а второе слагаемое - по формуле (3). Картина, представленная формулами (3), (4) позднее получила определенное теоретическое обоснование. В качестве модельной теоретической структуры обычно рассматривалось решение задачи о поле наземного источника в сферически слоистой среде.

Одним из таких решений являлся ряд зональных гармоник, в котором функцией $\vartheta = D/a$ являлись полиномы Лежандра. Ватсон в своей знаменитой работе [7] показал, что от ряда зональных гармоник можно перейти к ряду нормальных волн путем вычисления соответствующих вычетов на комплексной плоскости значений константы разделения переменных. Метод нормальных волн получил свое развитие в работах Бреммера [8] и ряда других исследователей. В качестве промежуточного результата в них использовалась формула в виде контурного интеграла для главной компоненты поля:

$$E = \int_c a(\nu)\theta(\vartheta, \nu)G(r, \nu)\, d\nu \tag{5}$$

Здесь $a(\nu)$ – спектр волн, θ – функция ослабления по дальности, G – высотный множитель. В работе [9] подробно проанализированы различия и преимущества метода зональных гармоник и метода нормальных волн дающих различные приближенные представления. Вместе с тем имелась еще одна

возможность приближенного представления интеграла (5). Предлагается вычислять интеграл с помощью теоремы о среднем. Согласно этой теореме интеграл (5) представляется в виде:

$$E \approx A(\vartheta, r, \overline{\nu})a(\overline{\nu})\theta(\vartheta, \overline{\nu})G(r, \overline{\nu}) \quad (6)$$

Здесь $\overline{\nu}$ – среднее значение в соответствии с теоремой, $A(\vartheta, r, \overline{\nu})$ – та окрестность $\overline{\nu}$ на контуре c в формуле (5), которая опять-таки требуется теоремой. Основная идея, высказанная авторами работы [5] состояла в том, чтобы определить $Re\overline{\nu}$ *и* $Im\overline{\nu}$ по результатам измерений задержки кругосветного сигнала (КС), как функции частоты $\tau_{КС}(f)$, и погонного затухания $\Gamma_{КС}$. Для того, чтобы это стало возможно, требовалось провести в формуле (5) тот же ряд преобразований, который приводится в методе нормальных волн. А именно, в формуле (5) и соответственно в (6) решения θ и G представляют собой стоячие волны. Обычно $\theta(\vartheta)$ приводит к сумме волн, бегущих в разные стороны от источника. Для аксиально-симметричного источника эти волны в случае КС были бы равноправны в случае сферически симметричной среды. Для других источников (с ярко выраженной диаграммой направленности) возможен выбор только одной из таких волн, как и в случае разнесенных точек излучения и точек регистрации (самолетные измерения). Требуется переход к бегущей волне и по координате r. И здесь главной частью функции $G(r, \nu)$ может служить волна, бегущая сверху вниз. Геометрооптическим аналогом такого представления (6) является односкачковое распространение радиоволн на любые дальности. Однако одному лучу соответствует нулевая энергия. Поэтому понадобилась новая трактовка экспериментальных данных о поле наземного излучателя на протяжённых трассах [10]. Чтобы обосновать необходимость построения нового объекта - выходящего из вершины первого скачка «русла» энергии, параллельного вогнутой поверхности ионосферы. Переход от формулы (6) к формуле (4) достаточно очевиден. Собственно, речь здесь идет о ВКБ приближении для функции Лежандра [8] и о введении феноменологической величины α, определяемой «подгонкой» к размерам антиподной области. Входящую в формулу (4) фазу компоненты E_d можно определить в модельной задаче для случая сферически слоистой ионосферы [10].

На рис. 2 на карте Северного полушария представлены области Евразии (I) и Северной Америки (II), связь между которыми целесообразно осуществлять с помощью обратной волны. При этом обратная волна будет пересекать только Южную полярную область [11].

Рис. 2 Геометрия областей, характеризующихся преимуществом связи обратной волной

Таким образом, выше обосновано применение метода «двух точек» для расчёта МПЧ области $F2$ радиоволны, излучаемой под нулевым углом (расчёты показывают, что эта величина равна МПЧ - $F2$ при длине «скачка» 4000 км.). С помощью метода «двух точек» для выбранной в качестве примера трассы Новороссийск – Калифорния было показано, что МПЧ обратной трассы на несколько мегагерц выше МПЧ прямой трассы в течение всего времени суток. При таком превышении передача сигналов происходит в области существенно более низкого уровня помех от других радиосредств. В результате - отношение «сигнал / шум» на более протяжённой обратной трассе может оказаться выше, чем на более короткой прямой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месячный прогноз максимально применимых частот (МПЧ). М.: Гидрометеоиздат. Периодическое издание. 2003. Март.
2. Гитина Г.М., Калинин Ю.К., Ушакова Л.К. и др. К расчёту максимально применимых частот декаметровых радиосигналов на протяжённых ионосферных трассах методом трёх точек. В сб. Распространение декаметровых радиоволн. М.: АН СССР. 1980.
3. Жулина Е.М., Керблай Т.С., Ковалевская Е.М. и др. Основы долгосрочного прогнозирования. М. Наука. 1969.

4. Международный Союз Электросвязи. Генеральный Секретариат. Регламент радиосвязи, т.1, 1990. ISBN 92-61-04144-2.
5. Иванов-Холодный Г.С., Калинин Ю.К. Геофизическая инвариантность области F ионосферы – причина стабильности кругосветных радиосигналов // ДАН. 1984. Т.279. С. 339
6. Ионосферно - магнитная служба. Сборник под редакцией С.И. Авдюшина и А.Д. Данилова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
7. Watson G.N. The Transmission of electric waves by the earth // Proc. Roy. Sos. 1918. V. A95. P. 83
8. Bremmer H. Terrestrial Radio waves. Elsevier Publ. Comp. 1949.
9. Макаров Г.И., Фёдорова Л.А. Метод многократно отражённых волн в задаче о распространении электромагнитных волн в регулярных волноводах // Изв. ВУЗов «Радиофизика».1982. Т.XXV. №12. С.1384 - 1409
10. Акимов В.Ф., Васькин А.А., Дзвонковская А.Л., Калинин Ю.К. Дифракционная радиоволна на протяжённых трассах декаметрового диапазона волн вблизи МПЧ - $F2$ -4000 // Электромагнитные волны и электронные системы 2008. № 4. С. 47 - 54
11. Калинин Ю.К., Дзвонковская А.Л. Воздействие на кругосветный сигнал коротковолнового радара ядерного взрыва вблизи его антипода // Электромагнитные волны и электронные системы. 2009. № 12. С. 62 - 68

ПРОБЛЕМЫ ИОНОСФЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ И НАБЛЮДЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ПРИЕМА СИГНАЛОВ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ

УДК 551.510.535:629.783

ВЛИЯНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ЧАСТОТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ GNSS-ПРИЁМНИКОВ НА ИОНОСФЕРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

А.Е. Васильев

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

alex_vass@mail.ru

Ключевые слова: GPS, ГЛОНАСС, SBAS, GNSS, часы, генератор, поправка, псевдодальности, фазы.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широко распространены глобальные навигационные спутниковые системы (Global Navigation Satellite Systems, «GNSS» – GPS, ГЛОНАСС и другие развивающиеся системы). Эти системы используются во многих приложениях, включая ионосферные исследования [1].

Такие системы используют фазовые и групповые задержки радиосигналов спутников для определения местоположения пользователей, но используются и в геофизических исследованиях.

Для ионосферных исследований традиционно используются групповые (зашумлённые) или фазовые (более точно измеренные, но с неизвестным начальным значением) задержки навигационных радиосигналов и иногда – измерения допплеровских сдвигов частот спутников.

ОБЩЕЕ ВЛИЯНИЕ ГЕНЕРАТОРА ЧАСТОТЫ ПРИЁМНИКА НА GNSS-ИЗМЕРЕНИЯ

Однако при подготовке входных данных для ионосферных расчётов следует помнить и о некоторых особенностях работы приёмной аппаратуры. Поскольку в серийных геодезических приёмниках используются простые кварцевые генераторы частот и отсчётов времени, их собственная точность невелика и составляет порядка 1 миллисекунды. Эта особенность влияет на измерения фазовых и групповых задержек радиосигналов спутников, а также на измерения допплеровского смещения несущих частот спутников,

поскольку генератор для всех указанных измерений в геодезическом приёмнике обычно общий.

Из геодезических приложений известен способ вычисления поправки к часам приёмника. Поправку получают на основе измерений по избыточному числу спутников, и это позволяет повысить точность определения времени с миллисекунд до десятков наносекунд.

Традиционно, такая поправка используется только для навигационных расчётов, поскольку исследования ионосферы обычно опираются на разностные способы вычисления электронного содержания и не подвержены влиянию хода генератора приёмников.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОДВОДКА ЧАСОВ GNSS-ПРИЁМНИКОВ

Некоторые производители приёмников закладывают в алгоритм прибора автоматическую подводку часов в случае достижения ей заданных пороговых значений. Это нужно для сохранения типичного диапазона значений задержек, поскольку при длительных измерениях уход часов накапливается до сколь угодно больших значений.

Подводка часов приводит к скачкам фазовых и групповых задержек, измеряемых по разности показаний часов приёмника и спутников.

Для научных расчётов, использующих подобные данные, наличие скачков может приводить к частичной или полной отбраковке данных, если алгоритм предварительного анализа не учитывает ход часов приёмника.

Если не использовать вычисляемую поправку к генератору (часам) приёмника [2], то алгоритмы предварительной обработки данных следует применять именно к значениям вычисляемого наклонного электронного содержания ионосферы, а не к первичным данным. Кроме того, при использовании допплеровских измерений в ионосферных расчётах, следует применять к ним такую поправку.

Приёмники некоторых производителей в процессе измерений своим внутренним алгоритмом уже применяют эту поправку к измерениям.

Дополнительную сложность представляет тот факт, что в зависимости от условий эксплуатации скорость хода генератора приёмника может неравномерно изменяться со временем.

ВЛИЯНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ПРИЁМНИКОВ НА ДОППЛЕРОВСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Кроме групповых и фазовых задержек, отклонение хода генератора от номинала влияет и на допплеровские измерения, приводя к их общему сдвигу. Пример такого влияния приведён на рисунке (1).

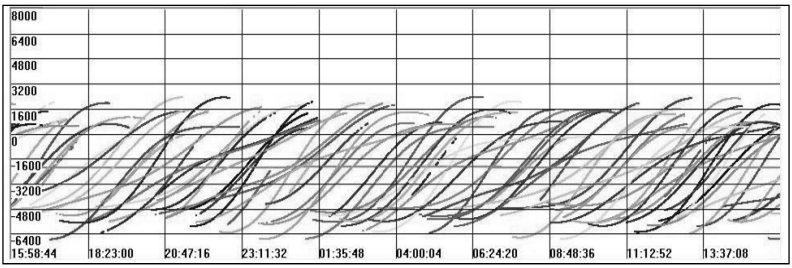


Рисунок 1. Пример искажённых допплеровских измерений по радиосигналам высокоорбитальных навигационных спутников (GPS, ГЛОНАСС, SBAS) на канале кода захвата (герцы). По горизонтальной оси – время. Данные приёмника Javad Triumph1, США (Калифорния), 17 июня 2009 г., время UTC.

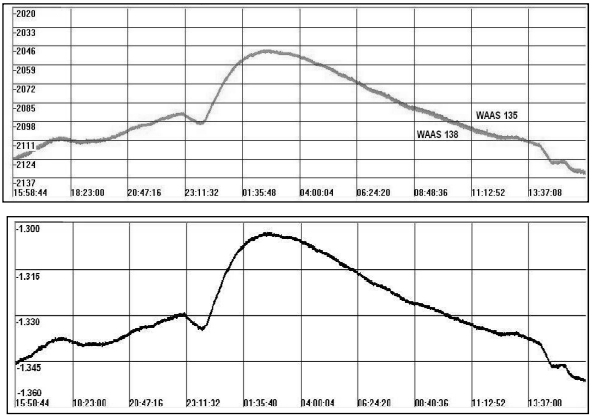


Рисунок 2. Пример допплеровских измерений радиосигналов геостационарных спутников. В верхней части рисунка изображено смещение частоты на канале кода захвата (герцы), в нижней – производная поправки к часам (микросекунды за секунду). По горизонтальной оси – время. Данные приёмника Javad Triumph1, Калифорния, 17 июня 2009 г., время UTC

Из рисунка (1) видно, что смещение частот, обусловленное движением спутников на орбитах, в целом сдвинуто по вертикальной оси вниз на ~ 40 % (около 2 кГц от диапазона возможных значений ±5 кГц). Это хорошо видно по линии геостационарных спутников (горизонтальная прямая).

Геостационарные спутники наиболее наглядно демонстрируют подобный эффект. На рисунке (2) представлен в увеличенном масштабе пример таких измерений.

Из рисунка (2) видно, что форма линий допплеровских измерений двух спутников практически полностью определяется ходом генератора приёмника. Отметим, что диапазон изменений допплеровских сдвигов в данном случае составляет ±50 Гц вокруг среднего значения.

УЧЁТ ХОДА ГЕНЕРАТОРА GNSS-ПРИЁМНИКА

В геодезии используются формулы для учёта хода генератора приёмника. Приведём их вместе с выражением для допплеровских смещений частот:

$$PR_{true} = PR_{measured} - c \cdot ClockOffset$$
$$PH_{L1_true} = PH_{L1_measured} - L_1 \cdot ClockOffset$$
$$Dopp_{L1_true} = Dopp_{L1_measured} - L_1 \cdot \frac{d}{dt} ClockOffset$$

Здесь PR – псевдодальности в метрах, c – скорость света в вакууме в метрах в секунду, $ClockOffset$ – вычисленная поправка для генератора (часов) приёмника в секундах, PH – фаза в циклах, L – рабочая частота в циклах в секунду, $Dopp$ – допплеровское смещение частоты.

Подобные формулы действуют для каждой частоты и по каждому каналу (код захвата и P - код).

На рисунках (3) и (4) приведены примеры данных с учётом особенностей хода генератора приёмников.

Из рисунка (3) видно, что при учёте влияния генератора приёмника диапазон допплеровских сдвигов по геостационарным спутникам уменьшился на порядок и составил около ± 5 Гц. Кроме того, суточные изменения стали симметричны относительно нулевого уровня, что стало удовлетворять условию геостационарности таких спутников, и форма линий в новом масштабе стала соответствовать ходу спутника на орбите.

Из рисунка (4) видно, что измерения по всем спутникам GPS, ГЛОНАСС и SBAS стали симметричны относительно нулевого уровня, что является признаком корректных измерений.

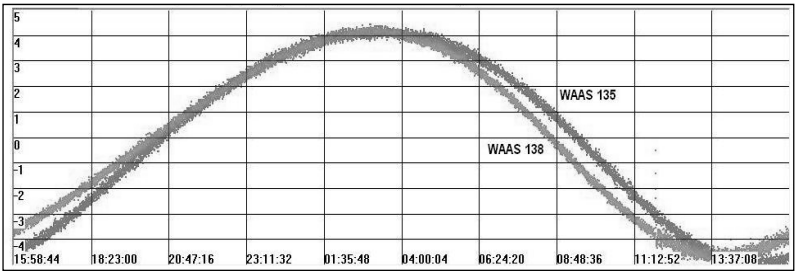


Рисунок 3. Смещение частоты L_1 на канале кода захвата с учётом генератора приёмника (герцы).
По горизонтальной оси – время. Данные приёмника Javad Triumph1, Калифорния, 17 июня 2009 г., время UTC.

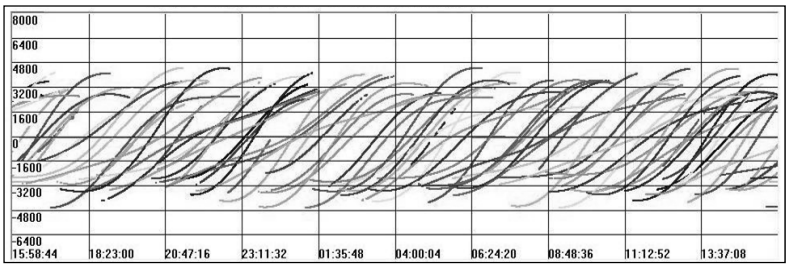


Рисунок 4. Смещение частоты на канале кода захвата с учётом хода генератора приёмника (герцы).
По горизонтальной оси – время.
Данные приёмника Javad Triumph1, Калифорния,
17 июня 2009 г., время UTC

СВЯЗЬ ХОДА ГЕНЕРАТОРА GNSS-ПРИЁМНИКА С ЕГО ТЕМПЕРАТУРОЙ

Что касается основных причин, вызывающих неравномерный ход генератора приёмника, то на рисунке (5) приведён пример простого сравнения скорости хода генератора с изменениями температуры приёмника, измеренной с помощью внутреннего штатного датчика температуры основной платы приёмника. В верхней части рисунка изображён суточный ход температуры внутри

приёмника (градусы). По горизонтальной оси – время. В нижней части – скорость ухода часов приёмника (мксек/сек).

Из рисунка (5) видно, что температура является одним из основных внешних факторов, влияющих на ход генератора приёмника, что может быть связано с режимом проветривания помещения, действиями местного персонала и другими объективными условиями.

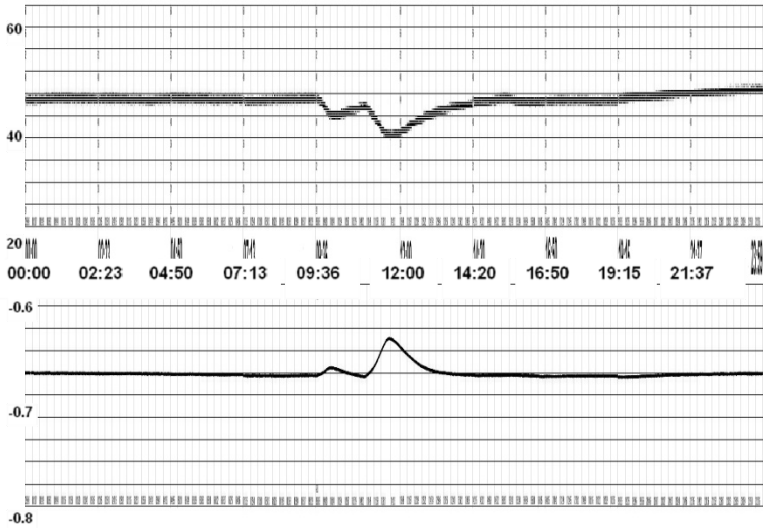


Рисунок 5. МГУ, приёмник Javad Maxor, 14 декабря 2010 г., время UTC

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве результатов проделанной работы можно отметить рекомендацию к предварительной обработке данных с учётом поправки к ходу генератора приёмников или использовать даже для предварительного анализа данные двухчастотных разностей.

Кроме того, в работе наглядно продемонстрирована связь скорости хода генератора приёмника и температуры приёмника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куницын В.Е., Терещенко Е.Д., Томография ионосферы, Москва, Наука, 1991

2. GREIS (General Reference External Interface Specification), JAVAD GNSS, Inc.: http://javad.com/jgnss/support/manuals.html

УДК 551.510.413

ТОЧНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ СЛОЯ *F2* С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИРУЕМОЙ МОДЕЛИ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ПЛАЗМОСФЕРЫ И СРНС *GPS*

К.А. Лобанов, А.Н. Подковырин

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт - Петербург

austin1978@yandex.ru

Ключевые слова: ионосфера, плазмосфера, концентрация электронов, полное электронное содержание, модель ионосферы, модель плазмосферы.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение функционирования средств радиосвязи, радиолокации, радионавигации требует привлечения геофизической информации о среде распространения радиоволн, а именно о тропосфере и ионосфере. Сложная ситуация в нашей стране, сложившаяся в системе сбора геофизической информации о параметрах ионосферы, вынуждает применять моделирование параметров ионосферы, жертвуя точностью. Однако модели ионосферы, даже адаптируемые на реальные гелиогеофизические условия, позволяют восстанавливать параметры ионосферы, и, в частности, профиль концентрации электронов, с существенными погрешностями [4, 5, 7]. Особенно это относится к высотам выше максимума ионизации ионосферы, включая плазмосферу. Причиной такой ситуации является тот факт, что к моменту построения моделей на рассматриваемых высотах имелся относительно небогатый эмпирический материал, явно недостаточный для всеобъемлющего описания среды.

Таким образом, цель исследования заключается в повышении точности описания состояния внешней ионосферы, в том числе на высотах плазмосферы.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНДЕКС СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Известно, что точность адаптации модели к текущим гелиогеофизическим условиям во многом зависит от точности параметров адаптации, которыми могут служить критические частоты и высоты максимумов ионизации слоев ионосферы, эффективный индекс солнечной активности (СА) и др. [2]. В работах [3, 6] показано, что адаптацию модели ионосферы целесообразно осуществлять с использованием эффективного индекса СА.

В настоящее время широкое применение трансионосферных методов зондирования среды позволяет определять параметры ионосферы, такие как ПЭС и, следовательно, эффективные индексы СА, используя спутниковые радионавигационные системы (СРНС) ГЛОНАСС и *GPS*. К примеру, в рамках научно-исследовательских работ, посвященных созданию Российской системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), и выполняемых в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, при вычислении ионосферных поправок для одночастотных потребителей СРНС ГЛОНАСС применяется методика определения эффективного индекса СА, в которой наряду с экспериментальным параметром – полным электронным содержанием (ПЭС) – используется модельный ПЭС, на точность определения которого непосредственно влияет точность моделирования профиля концентрации электронов.

Немаловажно, что в рамках данного подхода к определению эффективного индекса СА возможно оперировать интегральной характеристикой – ПЭС в слое от поверхности Земли до высот орбит КА СРНС, так как его определение доступно при использовании трансионосферных методов зондирования. Таким образом, появляется возможность уточнять не профиль концентрации электронов выше высот максимума ионизации, а использовать альтернативный параметр – ПЭС.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЭС ПЛАЗМОСФЕРЫ

В этой связи большие перспективы заключаются в использовании системы *COSMIC (constellation observing system for meteorology, ionosphere and climate)*, созданной в целях развития радиозатменных методов. На борту КА системы *COSMIC* расположена двухчастотная приемная аппаратура СРНС *GPS*, регистрирующая сигналы КА СРНС *GPS*. В настоящий момент КА системы *COSMIC* в количестве шести аппаратов расположены на круговых орбитах в шести орбитальных плоскостях с наклонением ~72° на высотах ~500 км с последующим переходом всех КА на орбиту с высотой

800 км. Количество КА системы планируется увеличить до 12, а впоследствии и до 24.

Для достижения обозначенной выше цели исследования предлагается использовать возможности системы *COSMIC* для определения значений ПЭС в слое от 500 км (высоты орбиты КА системы *COSMIC*) до 20000 км (высота орбиты КА СРНС *GPS*), используя данные регистрации сигналов КА СРНС *GPS*, полученные при больших положительных углах места радиолуча и доступные по интернет-адресу *http://cosmic-io.cosmic.ucar.edu*.

МОДЕЛЬ ПЭС ПЛАЗМОСФЕРЫ

Следует отметить, что использование зарубежных источников данных при геофизическом обеспечении прикладных задач нежелательно, что обусловливает необходимость создания системы, аналогичной системе *COSMIC*, в нашей стране, либо разработки новой модели ПЭС плазмосферы на основе уже имеющихся экспериментальных данных, например, в рамках физико-статистического способа построения моделей [1].

В целях аппроксимации экспериментальных данных было использовано аналитическое представление среднего поля с помощью известного математического аппарата – сферического гармонического разложения величины по ортогональным функциям в соответствии с выражением

$$F(X,\Lambda) = \sum_{m=0}^{M} \sum_{n=m}^{N} \left[g_n^m \cos(m\Lambda) + h_n^m \sin(m\Lambda) \right] * P_n^m(\cos X'),$$

где $F(X,\Lambda)$ - экспериментальное распределение ПЭС,
Λ - геомагнитная долгота, $X' = 90 - X$, - модифицированная широта, определяемая как $X = arctg(I_{500}/\cos\Phi)$, I_{500} -магнитное наклонение на высоте 500 км, g^m_n, h^m_n - коэффициенты разложения, $P^m_n(\cos X')$ - присоединенные функции Лежандра порядка n и индекса m в нормировке Шмидта.

Временной интервал осреднения поля определяется периодом стационарности ПЭС плазмосферы, который зависит от времени суток и уровня гелиогеофизической возмущенности среды. Коэффициенты сферического разложения рассчитывались на основе выборки с 2007 по 2010 год и соотносились с 15 числом месяца. Между 15 числами соседних месяцев осуществлялась линейная интерполяция значений ПЭС плазмосферы, полученных по двум наборам коэффициентов.

Модель может быть уточнена путем пересчета коэффициентов разложения с учетом данных текущих измерений значений ПЭС.

Тогда, для определения модельного ПЭС до высоты орбиты КА системы *COSMIC* ПЭС следует получить с помощью модели *IRI*, а выше орбиты КА системы *COSMIC* – с использованием разработанной модели ПЭС плазмосферы. Уточненный таким образом модельный ПЭС позволяет более корректно рассчитывать требуемый эффективный индекс СА, используемый для адаптации модели ионосферы.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ СЛОЯ *F2*

Проверка эффективности вновь полученного индекса СА выполнялась путем сравнения критических частот слоя *F2*, полученных из адаптированной по данному индексу модели ионосферы *SPIM*. Для эксперимента была выбрана станция вертикального зондирования ионосферы *Fairford* (51.7° с.ш., 1.5° з.д.).

На рис. 1 представлены относительные ошибки критической частоты слоя *F2* ионосферы, полученные при адаптировании модели *SPIM* различными индексами СА.

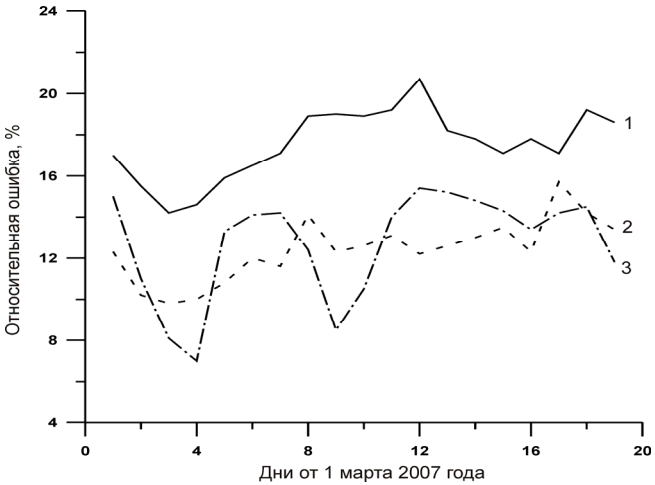


Рис. 1. Относительная ошибка восстановления критических частот f_0F2 для станции *Fairford* моделью *SPIM* на основе числа Вольфа (1), ионосферного индекса СА, полученного на основе расчета ПЭС путем обработки сигналов СРНС GPS (2), и индекса, полученного с применением модели ПЭС плазмосферы (3) для 15 часов МСВ

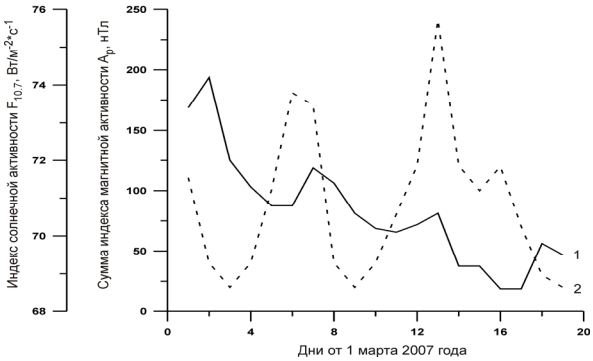


Рис. 2. Индексы солнечной (1) и геомагнитной активности (2)

Из анализа рисунка можно заключить, что эффективный индекс СА, полученный с использованием модели ПЭС плазмосферы, наиболее точно адаптирует модель ионосферы в спокойных геомагнитных условиях (рис. 2). Также в результате экспериментов выявлено, что заметный выигрыш (3-5 % относительной ошибки) наблюдается в послеполуденные и послеполуночные часы по местному времени.

Плохая точность адаптации модели в период геомагнитных возмущений, а также в восходно-заходные времена суток может быть объяснена недостаточно малым временным интервалом осреднения значений ПЭС, что объясняется невысокой дискретностью исходных данных, или малым числом как КА системы *COSMIC*, так и задействованных СРНС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективность применения трансионосферных методов зондирования среды обусловлена их дешевизной и глобальностью экспериментальных данных. При этом необходимость учета реального состояния верхней ионосферы и плазмосферы обусловлена потребностью в геофизическом обеспечении существующих радиотехнических средств, а также недостаточной точностью модельного представления среды на этих высотах. Полученные экспериментальные оценки восстановления критических частот слоя *F2* с помощью разработанной модели ПЭС плазмосферы говорят о корректности использованного математического аппарата, положенного в ее основу и об объективности описания ею ПЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамико-стохастические методы и их применение в прикладной метеорологии / В.С. Комаров, Ю.Б. Попов, С.С. Суворов, В.А. Кураков. – Томск.: ИОА СО РАН, 2004. – 235 с.
2. Котович Г.В., Михайлов С.Я. Адаптационные возможности модели IRI в прогнозировании характеристик декаметровых радиотрасс // Геомагнетизм и аэрономия. – 2003. – Т. 43, №1. – С. 88-91.
3. Оперативная оценка состояния околоземного космического пространства / В. И. Ашманец, А. И. Зубарев, М. Ю. Ортиков, Б. В. Троицкий // Геомагнетизм и аэрономия. – 2000. – Т. 40, №1. – С.109-112.
4. Полтавский О.С. Методы обеспечения КВ-трасс информацией о состоянии ионосферы: автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук. – Ростов н/Д., 2009.
5. Including the Gallagher plasmaspheric model in the NeQuick ionospheric model / M. Cueto, P. Coisson, S. Radicella, L. Ciraolo, M. Herraiz // Bulgarian Geophys. J. – 2004. – V. 30. – P.1-4.
6. Ionospheric index of solar activity based on the data of measurements of the spacecraft signals characteristics / M.Yu. Ortikov, V.A. Shemelov, I.V. Shishigin, B.V. Troitsky // J.Atmos. and Terr. Phys. – 2003. – V. 165. – P.1425-1430.
7. A new method for reconstruction of the vertical electron density distribution in the upper ionosphere and Plasmasphere / S. Stankov, N. Jakowski, S. Heise, P. Muhtarov, I. Kutiev, R. Warnant // J. Geophys. Res. – 2003. – V. 108. – P.1164-1180

УДК 551.510.535:629.783

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ИОНОСФЕРЕ

Д.А. Молодцов

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

Dmich.86@mail.ru

Ключевые слова: GPS, ГЛОНАСС, томография, псевдодальности.

ВВЕДЕНИЕ

Многочисленные наземные и космические исследования показали, что характерной особенностью ионосферы является её изменчивость и неоднородность. Возмущения (неоднородности) проявляются в вариациях различных параметров среды: локальной электронной концентрации (N_e), температуры ионов и электронов (Ti,Te), полного электронного содержания (ПЭС, количество электронов в столбе единичного сечения).

На сегодняшний день получить информацию о пространственно временном распределении электронной концентрации в ионосфере можно с помощью методов дистанционного зондирования. Для этого используются различные средства и методы ионосферного мониторинга, такие как станции вертикального и наклонного зондирования, метод частичных отражений, радары некогерентного рассеяния, трансионосферное зондирование.

С помощью пространственно временного распределения электронной концентрации мы можем найти полное электронное содержание (ПЭС):

$$I = \int N_e ds$$

Анализ используемых методов изучения динамики ионосферы показывает, что существующие радиофизические методы не могут служить единственной основой системы глобального наблюдения за

состоянием ионосферы ввиду того, что длительные непрерывные наблюдения трудно осуществимы, а иногда и просто невозможны. Локальность выполнения наблюдений за состоянием ионосферы не позволяет применить эти методы для создания системы непрерывного и глобального мониторинга ионосферы. Для Земли это особенно актуально, так как большую часть земного шара занимают акватории, где невозможно размещение постоянно действующих ионосферных станций, и горные массивы, не имеющие пригодной для размещения аппаратуры соответствующей инфраструктуры.

В настоящее время мониторинг земной ионосферы переходит на новый методический и технологический уровень, обусловленный полным развертыванием глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS и развитием алгоритмов решения обратных задач радиопросвечивания, предназначенных для определения параметров земной ионосферы. Этот переход является новой эрой в ионосферных исследованиях, поскольку основные свойства данных систем - возможность проводить измерения непрерывно во времени и пространстве в любой точке земного шара - непосредственно переносятся на ионосферный мониторинг и позволяют обеспечить исследование глобальных и региональных явлений в ионосфере.

Благодаря существующим глобальным навигационным системам мы можем найти полное электронное содержание и, решив обратную задачу, определим электронную концентрацию.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ

Определить полное электронное содержание можно различными способами.

Первый способ это определение полного электронного содержания по двухчастотным фазовым измерениям псевдодальности:

$$\boldsymbol{I = \frac{1}{40{,}308}\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}[(L_1\lambda_1 - L_2\lambda_2) + K + nL]}$$

где $L_1\lambda_1$ и $L_2\lambda_2$- приращения фазового пути радиосигнала, вызванные задержкой фазы в ионосфере; К- неоднозначность фазовых измерений; nL- ошибка измерения фазы.

Второй способ - это когда определяют полное электронное содержание по кодовым измерениям псевдодальности на двух частотах:

$$\boldsymbol{I = \frac{1}{40{,}308}\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}[(P_1 - P_2) + nP]}$$

где nP- ошибка измерения дальности по Р-коду.

Исследования показывают, что полное электронное содержание, вычисленное по кодовым измерениям псевдодальности на двух частотах, содержит некоторую аддитивную константу, зависящую от станции и спутника, вызванную частотно-зависимыми задержками в аппаратуре.

Кроме того, такие данные гораздо более зашумлены, чем фазовые: уровень шума в среднем составляет 30 - 50%. Высокий уровень шума в данных полного электронного содержания, определённого по кодовым измерениям псевдодальности на двух частотах, делает практически невозможным выделение вариаций полного электронного содержания, обусловленных неоднородностями электронной концентрации в ионосфере.

Таким образом, в ионосферных исследованиях наиболее предпочтительным является использование полного электронного содержания, восстановленного по фазовым измерениям псевдодальности на двух частотах.

РЕШЕНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ

Теперь рассмотрим способы решения обратных задач.

МЕТОД ТОМОГРАФИИ

Один из наилучших способов – решение обратной задачи методом радиотомографии ионосферы, основанным на сигналах навигационных систем. Возможность использования большого числа зондирующих лучей существенно повышает разрешение и точность реконструкции сечений пространственного распределения электронной концентрации.

Рассмотрим вариант радиотомографии с использованием искусственного спутника земли, где предполагается реконструировать распределение электронной концентрации по полному электронному содержанию на серии лучей.

Задачи томографии крупномасштабных структур формулируются обычно следующим образом: по измерениям линейных интегралов для серии лучей, пересекающих некоторую область, необходимо восстановить структуру этой области.

$$\int \frac{F(h,\tau)(R+h)dh}{\sqrt{R^2 \sin^2\beta + 2Rh + h^2}} = I(\beta, \tau_i)$$

Линейный интеграл $I(\beta,\tau_i)$ зависит от координаты приёмника τ_i и угла места спутника β.

$$N(h,\tau) = \sum_{m,n=0}^{3} a_{mn}\tau^m h^n$$

Основное требование сводится к тому, что как можно больше лучей должно пересекать заданную область в возможно более широком диапазоне углов. Следовательно, нужно иметь как можно больше приёмников и передатчиков либо перемещать их друг относительно друга в широком диапазоне положений.

Методы радиотомографии позволяют успешно проводить двумерную или трёхмерную (пространственно-временную) реконструкцию распределения электронной концентрации в ионосфере. Разрешающая способность метода зависит от густоты сети приёмных станций в исследуемом регионе. В настоящее время методы продолжают развиваться с целью повышения разрешающей способности.

МЕТОД РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ

Рассмотрим другой способ решения обратной задачи - методом однопозиционного радиопросвечивания ионосферы по трассе наземный пункт – навигационный спутник.

Практическая реализация этого метода базируется на использовании измерений параметров радиосигналов на трассе «спутник - наземный пункт» по наблюдениям с одного пункта, зона действия которого охватывает область радиусом более 1000 км.

В этом методе при проведении измерений на двух частотах в предположении локальной сферически слоистой среды, интегральное уравнение радиопросвечивания связывает измеренную радиотехническим способом разность псевдодальностей с функцией высотного распределения электронной концентрации $N(z)$ следующим образом:

$$\int_{z_1}^{z_2} N(z)\frac{(a+z)dz}{[(a+z)^2-a^2\sin^2\vartheta]^{1/2}} = 2{,}475\cdot 10^{-8}\,\frac{f_1^2}{k}\left[\Delta R(f_1,f_2)-\delta\right]$$

где z_1 и z_2 - предполагаемые нижняя и верхняя границы ионосферы соответственно, ϑ - зенитный угол наблюдения спутника с пункта измерений, z- текущая высота от поверхности Земли.

Выражение слева представляет собой полную электронную концентрацию ионосферы вдоль пути распространения навигационного сигнала.

Уравнение радиопросвечивания является интегральным уравнением 1-го рода типа Фредгольма. Решение его относительно неизвестной функции N(z) сводится к решению некорректно поставленных задач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование навигационных систем для изучения и контроля состояния ионосферы представляет собой научно-технологический прорыв в области дистанционного зондирования ионосферы и обладает глобальной перспективой, обусловленной большим количеством навигационных спутников и наземных пунктов наблюдения. В дальнейшем будут исследованы другие методы решения обратных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айфрамович Э.Л., Перевалова Н.П. GPS - мониторинг верхней атмосферы Земли. - Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006.
2. Куницын В.Е., Терещенко Е.Д., Андреева Е.С. Радиотомография ионосферы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.

УДК 551.510.413

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ КОСМИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЭМИССИОННОГО СЛОЯ В ОКРЕСТНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ТЕРМИНАТОРА

М.А. Полуаршинов

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

mihalich@gmail.com

Ключевые слова: оптическая томография, эмиссионный слой

ВВЕДЕНИЕ

В статье дается обоснование принципиальной возможности восстановления внутренней структуры (пространственного распределения объёмной светимости) атмосферного эмиссионного слоя по его изображениям, полученным с орбиты космического аппарата (КА). Для обоснования этой возможности приводится решение модельной задачи — восстановление пространственной структуры дневной эмиссии (762 нм) атмосферной полосы (0,0) молекулярного кислорода в окрестности солнечного терминатора, где величина объёмной светимости эмиссионного слоя характеризуется значительными градиентами, как по вертикали, так и по горизонтали.

Решение модельной задачи предполагает решение двух подзадач – прямой и обратной. Прямая задача предполагает моделирование величины сигналов принимаемых фотоприёмником, размещённом на космическом аппарате для регистрации излучения от эмиссионного слоя в окрестности терминатора, а решение обратной подзадачи означает восстановление пространственной структуры эмиссионного слоя по данным, полученным в ходе решения прямой.

При постановке прямой задачи вертикальные распределения атмосферных компонентов (O_2, N_2, O_3), определяющих интенсивность процессов свечения и гашения в моделируемом эмиссионном слое, были выбраны в соответствии с моделью MSIS-90 (см. рис. 1). При этом изменение концентрации озона при переходе от дневных к ночным значениям было задано линейной зависимостью. Для упрощения расчетов предполагалось, что плоскость орбиты

космического аппарата перпендикулярна плоскости солнечного терминатора.

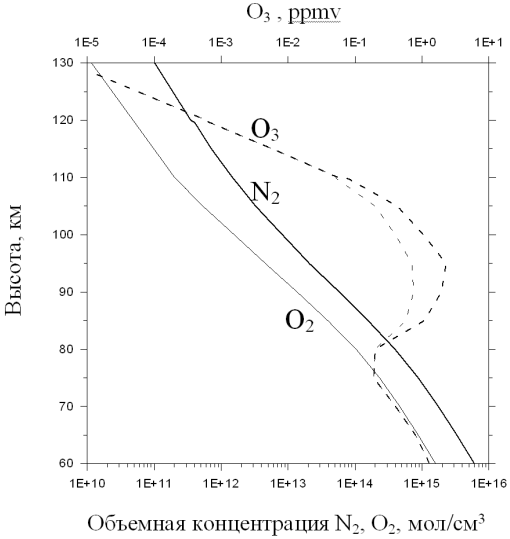


Рис. 1 — Вертикальные профили объемных концентраций O_2, N_2 и относительной концентрации O_3

На втором этапе, используя рассчитанные значения светимости эмиссионного слоя, была проведена томографическая реконструкция пространственного распределения объёмной светимости эмиссионного слоя. При этом был использован простейший итерационный алгоритм (ART) решения системы томографических уравнений.

НАБЛЮДЕНИЯ ЭМИССИОННОГО СЛОЯ

Один из основных современных источников данных о пространственно-временном распределении атмосферных эмиссий это фотометрические наблюдения проводимые с космических аппаратов. Так, в ходе проведения космического эксперимента LSO на Международной космической станции (МКС) были получены новые данные об эмиссии атмосферы в ближнем ИК диапазоне спектра [1]. В эксперименте LSO использовались две CCD камеры. Одна камера снимала в видимом и ближнем ИК диапазонах, на другой был установлен фильтр для регистрации атмосферной полосы (0,0) O_2 (762±5 нм). Наблюдения проводились в окрестности солнечного

терминатора (рис. 2), когда эмиссионный слой подсвечивался восходящим или заходящим Солнцем, а поверхность Земли и тропосферная облачность находились в тени.

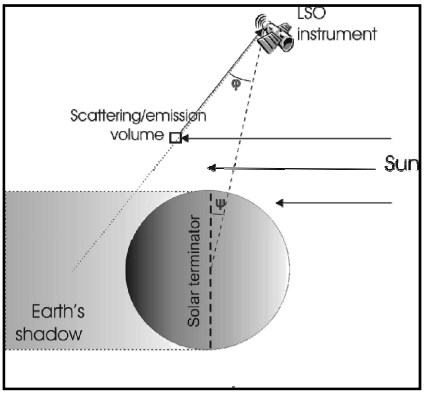
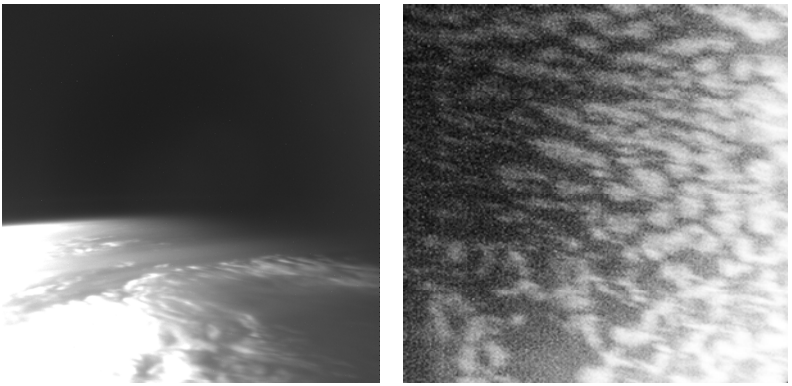


Рис. 2 — Схема наблюдений в эксперименте LSO

Полученные изображения демонстрируют яркий эмиссионный слой на высоте ~90 км в окрестности солнечного терминатора, примеры полученных фотографий приведены на рис. 3.



а. б.

Рис. 3 — Фотографии эмиссионного слоя в положениях «лимб» (а) и «надир» (б)

Все изображения демонстрируют узкий слой свечения с четким вертикальным распределением объемной эмиссии и заметными горизонтальными вариациями по полю зрения камеры. Оценочная высота наблюдаемых объектов 84—94 км.

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ

Оптический сигнал в атмосферной полосе (0,0) O_2 (762 нм) $O_2(b^1\Sigma_g^+) \rightarrow O_2 + h\nu(\lambda = 762nm)$, регистрируемый камерой, размещённой на КА, можно представить в виде:

$$P_{cam} = P_{ec} + P_{rs} + P_{O(^1D)} + P_{Barth}, \quad (1)$$

где P_{ec} – излучение, отраженное от поверхности Земли и тропосферной облачности; P_{rs} – резонансное рассеяние на молекулярном кислороде; $P_{O(^1D)}$ – излучение, возбуждаемое столкновением молекулярного кислорода с атомарным в состоянии O(^{1}D); P_{Barth} – ночное свечение атмосферы в атмосферной полосе (762 нм). Численные оценки показали, что основной вклад в регистрируемый видеосигнал даёт процесс генерации O(^{1}D) за счет фотолиза озона в полосе Хартли (250-300 нм). Формулы для расчёта слагаемых правой части уравнения (1) приведены в [1]. Результат расчета пространственного распределения величины объёмной светимости эмиссионного слоя в окрестности терминатора приведён на рис. 4.

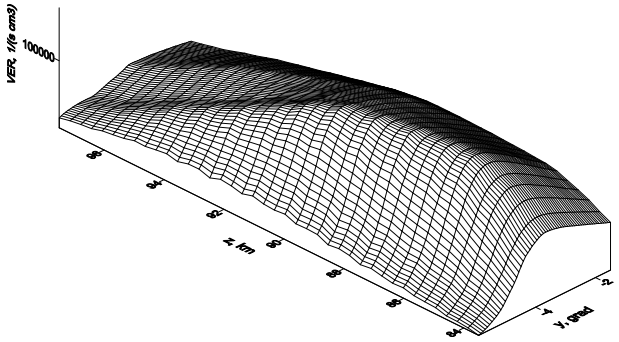


Рис. 4 – Результат решения прямой задачи. Пространственное распределение объёмной светимости (фотон/с×см^3) эмиссионного слоя в окрестности солнечного терминатора. *Z* – высота над уровнем моря (км); *y* – угловое расстояние до плоскости солнечного терминатора

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ

Решение обратной задачи методом томографического восстановления пространственной структуры объёмной светимости

эмиссионного слоя предполагает наличие достаточного количества проекций (преобразований Радона), полученных с различных ракурсов. В рассматриваемом случае преобразование Радона представляет собой интегральную интенсивность свечения слоя по линии визирования.

На рис. 5 показаны два сектора (I: $\psi = -29° \sim -21°$, 9 позиций и II $\psi = -13° \sim 12°$, 23 позиции) возможных положения КА, для которых в ходе решения прямой задачи были получены веерные проекции эмиссионного слоя.

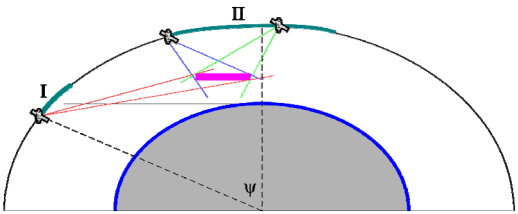


Рис. 5 — Геометрия взаимного положения эмиссионного слоя и КА при решении обратной задачи томографического восстановления структуры эмиссионного слоя

Для каждой позиции КА рассчитано 10 значений сигналов. Всего 350 значений интегральной интенсивности свечения слоя. Восстановление производилось с помощью простейшего томографического алгоритма — ART (algebraic reconstruction technique). Результат приведён на рис. 6.

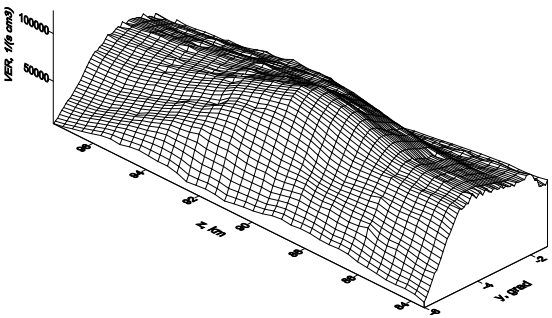


Рис. 6 — Восстановленная пространственная структура объемной светимости (фотон/с×см^3) эмиссионного слоя

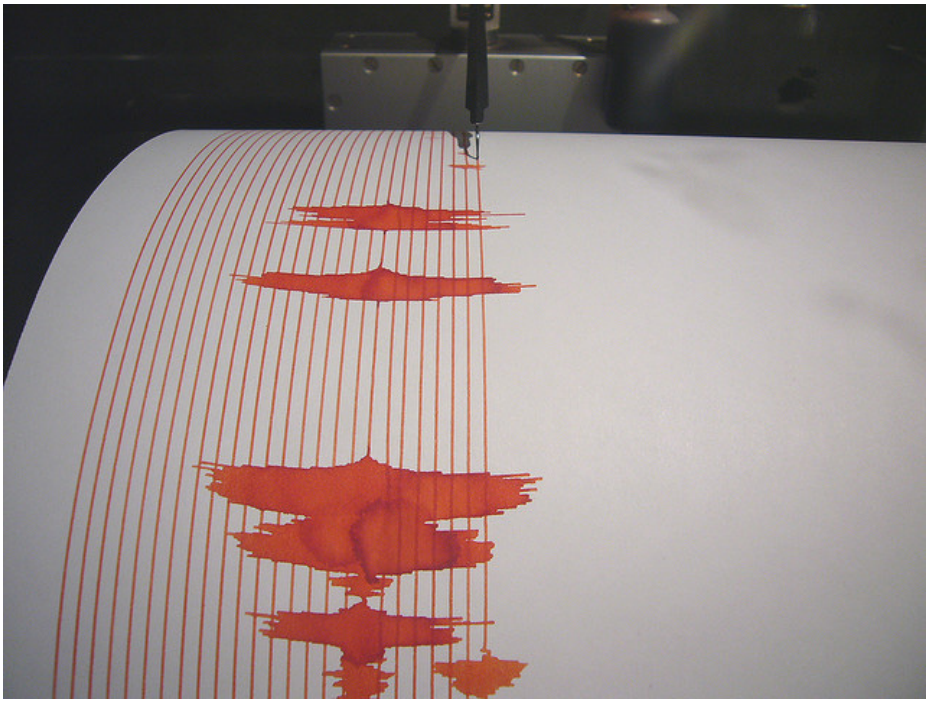
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты сравнения модели и томографической реконструкции показывают, что даже простейший алгоритм ART без использования дополнительных данных позволяет реконструировать основные особенности пространственной структуры эмиссионного слоя, что, в свою очередь, свидетельствует о принципиальной возможности использования методов оптической томографии для изучения химического состава и динамики верхней мезосферы и нижней термосферы. Очевидно, существует возможность
улучшение процедуры восстановления, используя более совершенные томографические алгоритмы и дополнительную информацию об эмиссионном слое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Belyaev, A.N., V.V. Alpatov, E. Blanc, V.E. Melnikov, Space-based observations of O_2 A (0,0) band emission near the solar terminator and their interpretation, *Adv. Space Res*. 38, 2366-2373, 2006.

ПРОБЛЕМА ИОНОСФЕРНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ



УДК 550.388.2

СЕЙСМОГЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ОБЛАСТИ F2 ИОНОСФЕРЫ, ОБРАЗОВАВШАЯСЯ НЕЗАДОЛГО ДО НОВОЗЕЛАНДСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 21.04.1999 ГОДА И ОБНАРУЖЕННАЯ НАЗЕМНЫМИ И СПУТНИКОВОЙ ИОНОСФЕРНЫМИ СТАНЦИЯМИ

Д.В. Давиденко

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

davidenkoe5@rambler.ru

Ключевые слова: ионосфера, радиозондирование, ионосферная неоднородность, ионограмма, задержанный нижний след, экваториальная аномалия.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из современных гипотез утверждает, что результатом подготовки землетрясения является возникновение в ионосфере сейсмогенной ионосферной перемещающейся неоднородности, характеризующейся положительным отклонением электронной концентрации и скоростью движения 0,8 – 1,5 тыс.км./час. Автор этой гипотезы – профессор Ю.К. Калинин - провел обширные статистические исследования одновременного поведения электронной плотности в максимуме ионосферы на различных ионосферных станциях планеты и нашел, что изменения в ионосфере, предшествующие землетрясению, возникают за 10-15 часов до главного удара и определяют место и – главное – время начала землетрясения [1]. Диагностирование этой неоднородности фактически и есть нахождение предвестника. В эксперименте на ОК «Мир» было показано, что в некоторых случаях явление ЗНС [2] на ионограммах совпадало с сейсмогенной неоднородностью, определенной по результатам наземных ионосферных станций по методу профессора Калинина.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ

Массивы относительных вариаций критической частоты области F2 ионосферы $\{\delta f_0F2\}$, полученные на мировой сети автоматических ионосферных станций (АИС), обрабатывались по довольно простой методике. За несколько суток до и после момента землетрясения строились зависимости вариаций от времени $\delta f_0F2(t)$ для каждой АИС. После этого производилась двойная селекция визуально выделяемых одиночных положительных вариаций. На карте Мира положения таких АИС выделялись специальными знаками. Предметом дальнейшего поиска служили цепочки среди выделенных АИС, расположенных вблизи дуги большого круга. После этого производилось новое построение зависимостей $\delta f_0F2(t)$ друг под другом со сдвигом осей абсцисс на величину, пропорциональную расстоянию от АИС до эпицентра землетрясения. Предполагалось, что на таком комплексном графике локальные максимумы зависимостей $\delta f_0F2(t)$ располагаются тем позднее, чем больше расстояние от АИС до эпицентра землетрясения. Построение прямой, вокруг которой группируются максимумы, определяет среднюю скорость равномерно движущегося объекта. Экстраполяция прямой к временной оси абсцисс, соответствующей эпицентру, позволяет оценить время упреждения – интервал между появлением неоднородности и моментом главного удара. Подобным способом были обработаны десятки случаев. Это позволило оценить параметры обнаруженных объектов. Их примерно одинаковые продольные и поперечные горизонтальные размеры заключены в пределах 2 – 4 тыс. км. Величина $\delta f_0F2(t)$ превышает 15 – 20 % (Известен случай, когда $\delta f_0F2(t)>50\%$)

В 1999 г. с помощью АИС, располагавшейся на ОК «Мир», было получено большое количество стандартных ионограмм. Однако, изредка на ионограммах регистрировался нестандартный трек. Так называемый ЗНС, подробнее см. [2]. При этом возникла естественная гипотеза. Достаточно было предположить наличие в ионосфере макромасштабной неоднородности с конкретными параметрами её краевой области, чтобы методом геометрической оптики синтезировать нестандартный трек. В работе [3] это предположение было соотнесено к ситуации пересечения траектории ИСЗ с траекторией движения сейсмогенной неоднородности, обнаруженной с помощью цепочки наземных АИС. Следует опять-таки отметить, что обнаружение сейсмогенной ионосферной неоднородности является редким событием. Необходимо, чтобы траектория движения объекта совпадала с какой-либо цепочкой АИС, например, протяжённостью более радиуса Земли. Пересечение двух траекторий – одиночного сейсмогенного объекта и ИСЗ, когда они совмещаются в пространстве-

времени, является ещё более редким событием. Известны только две такие достаточно ясные ситуации. В данной статье рассматривается одна из них.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 21 АПРЕЛЯ 1999 г.

Землетрясение состоялось в южной части Тихого океана несколько севернее Новой Зеландии на границе Тихоокеанской и Австралийской литосферных плит в 11 часов 08 минут (UT); координаты места землетрясения: (29,68 град. ю.ш.; 178,47 град. з.д.); магнитуда землетрясения: 5,6.

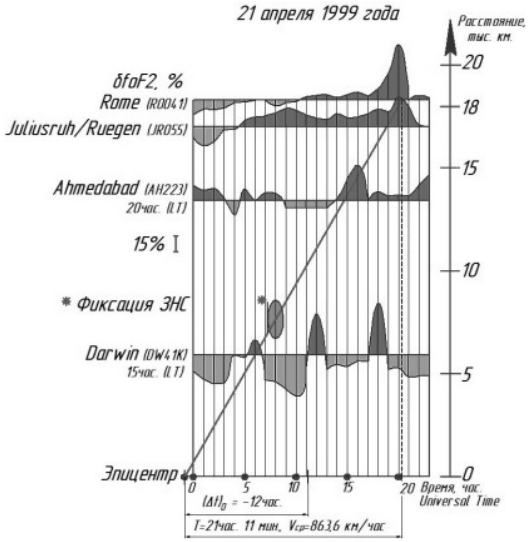


Рис. 1 Комплексный график $\delta f_0F2(t)$ для различных АИС, оси абсцисс которых сдвинуты по вертикали пропорционально расстоянию АИС от эпицентра; масштаб по вертикали для каждого графика и значок фиксации ЗНС на космической АИС – слева.

На рис. 1 представлен комплексный график зависимостей $\delta f_0F2(t)$ для АИС: Darwin (Австралия), Ahmedabad (Индия), Juliusruh/Ruegen (Германия) и Rome (Италия). Шкала расстояний от эпицентра до соответствующей АИС расположена справа. В левой части рис. 1 дана цена деления по вертикали в процентах для $\delta f_0F2(t)$, отсчитываемой от различных осей абсцисс. Они соответствуют различным АИС и их положение пропорционально расстоянию от АИС до эпицентра. Местное время (LT) для каждой АИС в момент обнаружения сейсмогенного объекта также указано слева. ЗНС был

зафиксирован на ионограммах начиная с 07 часов 15 минут (UT). Также стоит обратить внимание на тот факт, что в момент фиксации ЗНС спутник находился в области экваториальной аномалии, а высота орбиты, вдоль которой он двигался, была меньше высоты главного максимума ионосферы (рис. 2).

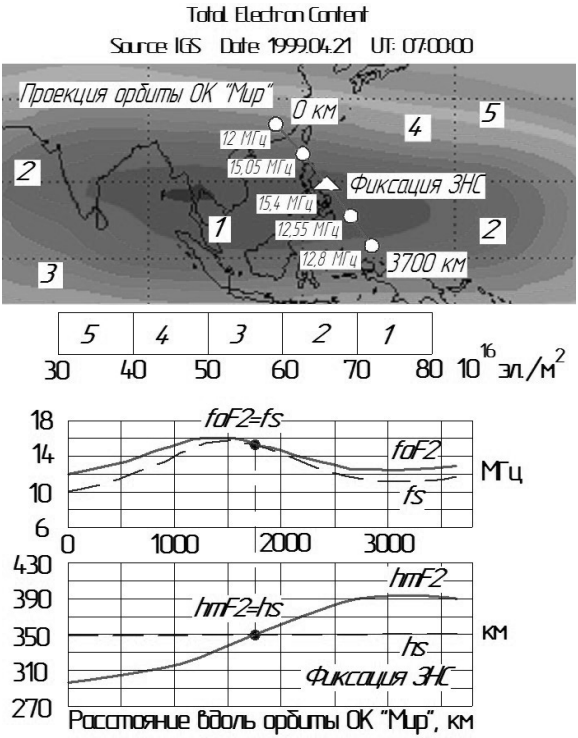


Рис. 2 Распределение критических частот и высот максимума ионосферы вдоль орбиты ОК «Мир», где h_s, f_s –соответственно, высота орбиты ИСЗ и плазменная частота на этой высоте; h_mF2, f_0F2- высота максимума ионосферы и критическая частота.

Предполагается, что ИСЗ пролетал на некотором расстоянии от траектории объекта, обозначенного на рис. 1 эллипсом, воспроизводящим размеры неоднородности. Следует напомнить, что появление ЗНС трактуется, как рефракционный эффект на краю неоднородности. А именно, возможны два типа траекторий, возвращающихся к ИСЗ. Один из них стандартный, обусловленный вертикальным распространением зондирующего сигнала. Другой - связан с рефракцией в краевой области неоднородности. Данные на рис. 1 позволяют оценить параметры движения неоднородности.

Величина упреждения $(\Delta t)_0$ - составляет 12 час.; скорость равна $V \approx 900$ км/час. Всё это находится в соответствии с данными работ [1,3].

На рис. 3 представлена карта Мира в проекции Меркатора. На ней нанесены малые кружочки, соответствующие положениям АИС на всех шести обитаемых континентах. Каждый из кружочков окружён более широкой окружностью, условно отображающей «радиус действия» АИС, принятый равным 10^3 км. Внутри кругов стоят знаки минус для АИС, в данных которых не обнаружены локальные максимумы, группирующиеся возле прямой, представленной на рис. 1.

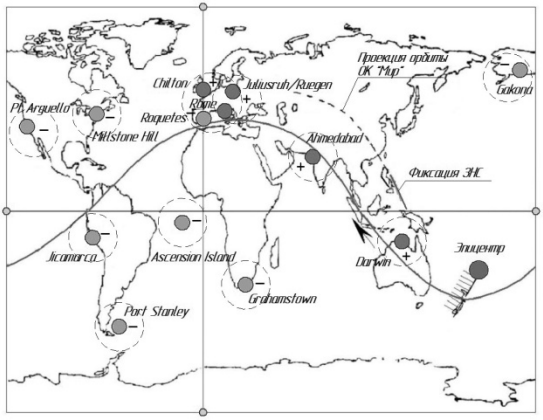


Рис. 3 Движение сейсмогенной неоднородности в области F2 ионосферы и обнаружение ЗНС спутниковой АИС.

Знаками плюс помечены пять АИС: Darwin (Австралия), Ahmedabad (Индия), Juliusruh/Ruegen (Германия), Chilton (Великобритания) и Rome (Италия), чьи зависимости $\delta f_0 F2(t)$ обладают характерными максимумами по времени и координатам сгруппированные вблизи прямой на рис. 1. Эта прямая в виде дуги большого круга представлена на рис. 3. сплошной кривой. Следует отметить, что положение кривой носит компромиссный характер. Она проходит несколько южнее точки эпицентра, расположенного северо-западнее Новой Зеландии.

Такое наблюдалось практически во всех проанализированных случаях динамики сейсмогенных ионосферных объектов. Далее следует указать на то, что испанская АИС Roquetes и АИС Jicamarca, расположенная в Перу, не дали заметного эффекта вблизи прямой на рис. 1. Всё это заставляет предположить, что объект прекратил существование на дальности 18 тыс. км.

На рис. 3 пунктиром показана траектория ИСЗ и тонкой линией с изломом показано место, где спутниковая АИС зарегистрировала ЗНС. Совокупность данных, представленных на рис. 1 и рис 3, позволяет сделать вывод об обнаружении сейсмогенной макромасштабной неоднородности в области F2 двумя независимыми методами. В данном случае процесс обнаружения завершился за 4 часа до землетрясения. Гипотетические координаты эпицентра можно было бы указать с погрешностью порядка 10^3 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сейсмогенные объекты в области F2 ионосферы могут быть зарегистрированы с помощью АИС наземного и космического базирования. Причиной возникновения ЗНС являются, как регулярные образования в ионосфере, например, экваториальная аномалия, так и нерегулярные (случайные), например, облака – предвестники землетрясений. Только совместное исследование с наземными ионосферными станциями позволит выделить и диагностировать те случаи ЗНС, которые являются признаками сейсмогенных неоднородностей. Несмотря на кажущуюся простоту методики обработки данных, полученных на мировой сети АИС, существует проблема качества информации, предоставляемой мировыми центрами данных. Так, например, для станции Darwin два источника [4,5] – дают абсолютно противоречивые данные по значениям критических частот области F2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин Ю.К., Сергеенко Н.П. Макромасштабные движущиеся неоднородности, возникающие в ионосфере за несколько часов до сильных землетрясений. //Доклады. РАН. 2002.Т.387, №1, С.105.
2. Данилкин Н.П., Котонаева Н.Г., Анишин М.М. Задержанный нижний след на спутниковых ионограммах – новое средство изучения макронеоднородностей ионосферы. // Изв. ВУЗов. Радиофизика. 2006. Т.XLIX, №1, С.9.
3. Калинин Ю.К., Сергеенко Н.П., Сазанов А.В. Кругосветные движения сейсмогенных макромасштабных неоднородностей в области F2 ионосферы.// Геомагнетизм и аэрономия. 2004. Т.44, №4, С.331.
4. http://www.ips.gov.au/World_Data_Centre/1/3
5. http://www.ukssdc.ac.uk/wdcc1/ionosondes/secure/iono_data.shtml

УДК 550.388.2 + 551.594

ОБОСНОВАНИЕ ПРИБОРНОГО СОСТАВА ДЛЯ НАНОСПУТНИКА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КРАТКОСРОЧНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ИОНОСФЕРЕ

А.В. Джумагалиев

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

Djumanji-ru@yandex.ru

Ключевые слова: вариации космической плазмы, землетрясение, наноспутник, радиоспектрометр, электростатический зонд Лэнгмюра.

ВВЕДЕНИЕ

В результате исследований, проводившихся в течение последних 15 лет, было убедительно доказано наличие специфических аномальных вариаций космической плазмы, связанных с процессом подготовки сильных землетрясений [1]. Всестороннее исследование этих вариаций позволило установить их физическую природу [2,3], основные морфологические характеристики [4], их пространственный масштаб и основные статистические характеристики [5]. Результаты исследований представлены в виде схемы (1).

Надежность статистических характеристик ионосферных предвестников землетрясений, а также возможность их регистрации на борту искусственного спутника Земли, позволили поставить в практическую плоскость вопрос создания спутниковых систем для мониторинга краткосрочных предвестников землетрясений, а также возможного краткосрочного прогноза сильных землетрясений в глобальном масштабе [6-9].

Ситуацию в этой области условно можно разделить на два этапа: до и после запуска французского спутника Demeter. До июня 2004 г. не существовало спутников, специально предназначенных для регистрации предвестников землетрясений, и все результаты были получены либо наземными методами, либо с помощью измерений на спутниках, не предназначенных для этих задач. После запуска спутника Demeter стало возможно оценить, насколько справедливы были выводы всех предыдущих работ, а также использовать все достижения и ошибки проекта Demeter при создании новых спутников,

предназначенных для регистрации и мониторинга ионосферных предвестников землетрясений. Результаты, полученные спутником Demeter [7], подтвердили практически все выводы предыдущих работ, что позволяет приступать к созданию будущих проектов с большим оптимизмом.

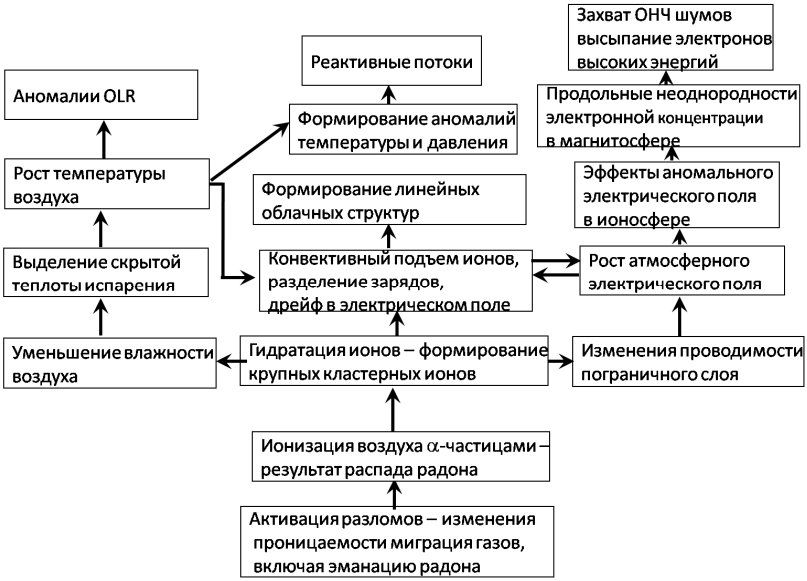


Схема 1. Схематическое представление модели комплексных связей Литосфера – Атмосфера - Ионосфера

ВЫБОР ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ

Главная задача наноспутника - контроль околоземной космической плазмы и исследование ее изменчивости, связанной с Космической погодой (солнечная и геомагнитная активность) и эффекты на ионосферу снизу (акустические гравитационные волны от атмосферных фронтов, ураганов, ионосферные эффекты землетрясений, грозовая активность). Главные параметры, которые должны контролироваться: концентрация электронов и ионов, температура электронов и ионов, электромагнитные поля и излучения, потоки энергичных частиц, главным образом, из радиационных поясов.

Чтобы определить вариации, связанные с Космической погодой и эффектами от природных экстремальных явлений

необходимо хорошо знать плазменный фон. Следовательно, полезная нагрузка спутника должна предоставлять высококачественные данные с достаточным временным (что эквивалентно пространственному) разрешением и иметь широкий динамический диапазон.

Из всех вариаций космической плазмы, зарегистрированных на различных космических аппаратах и интерпретируемых как краткосрочные предвестники землетрясений, наибольшей надежностью с точки зрения достоверности, подтвержденной статистическими исследованиями, являются вариации электронной концентрации. Эти вариации могут измеряться различными методами, но, учитывая ограничения, налагаемые типом используемого аппарата (наноспутник), оптимальной была признана установка на борт классического электростатического зонда Лэнгмюра, позволяющего измерять одновременно электронную и ионную концентрацию на высоте орбиты спутника, а также электронную температуру [14, 15]. Это решение было подкреплено также результатами, полученными на борту спутника Demeter [10] по регистрации предвестников сильных землетрясений в 2006 году. Еще одним преимуществом прибора является просто интерпретации результатов измерений и возможность представления результатов измерений в виде физических параметров практически в реально масштабе времени.

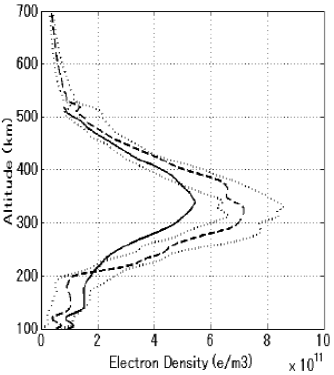


Рис. 1 Вариации вертикального профиля электронной концентрации, обнаруженные по данным ионосферной томографии (Спутники Cosmic) перед землетрясением в Японии

Тем не менее, одним из недостатков зонда Лэнгмюра является то, что измерения проводятся только на высоте орбиты спутника, в то время как результаты предыдущих исследований показывают: максимальной чувствительностью по отношению к сейсмо-

ионосферным вариациям обладает максимум слоя *F* ионосферы, находящийся на высотах 250-400 км. Вариации в максимуме слоя *F* в несколько раз (а иногда и на порядок) больше, чем на высотах орбиты спутника 600-700 км. (Рис. 1) демонстрирует модификацию вертикального профиля электронной концентрации перед землетрясением в Японии [12].

Можно видеть, как отличаются изменения в области главного максимума ионосферы и на возможной высоте орбиты спутника 500-600 км. Этим объясняется факт, что спутник Cosmic смог измерить только слабые изменения плазменных параметров над сейсмически активными областями. Поэтому желательно иметь на борту прибор, способный измерять вариации электронной концентрации в максимуме слоя ионосферы.

Наиболее подходящий метод измерений – внешнее зондирование и установка на борту ионозонда[13], но он потребляет около 30 Вт, требует установки длинных дипольных антенн (около 50 м.), что является трудновыполнимым для установки на борту наноспутника. Использование на спутнике приемника GPS для проведения измерений профилей электронной концентрации радиозатменным способом кажется не оптимальным, потому что большинство профилей будет получено не под спутником, а на большом удаление от него. Наилучшей альтернативой представляется использование ВЧ радиоспектрометра [11], поскольку он обеспечивает возможность измерения электронной концентрации в пике ионосферы под спутником, используя проникновение шумов от наземных радиопередатчиков на критической частоте ионосферы. Радиоспектрометр должен работать в пределах диапазона частот 0.1 – 20 МГц с возможностью измерять ВЧ спектры каждые 5 - 10 с..

Большинство результатов об аномальном излучении над сейсмически активными областями было получено спутником Космос 1809 [16] и спутником Demeter [17] в частотном диапазоне КНЧ. Чтобы определить физический механизм излучения, необходимо измерять электрический и магнитный компоненты сигнала в диапазоне частот 0 – 20 кГц. Возможно сужение измеряемого диапазона частот до нескольких килогерц.

Имеется достаточное количество публикаций о высыпаниях энергичных частиц, стимулируемых землетрясением [18]. Есть спорная информация относительно типа и энергии частиц. В литературе упоминаются высыпания как протонов, так и электронов перед землетрясениями, а их энергия изменяется от 30 КеВ до> 40 МеВ. Кажется, что наиболее соответствующий была бы установка твердотельных датчиков работающих в широком энергетическом диапазоне, как для электронов, так и для протонов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имея в виду ограничения полезной нагрузки наноспутника, можно предложить следующие приборы:

ВЧ радиоспектрометр

Электростатический зонд Лэнгмюра

Волновой комплекс КНЧ-ОНЧ

Твердотельный детектор частиц

Следует отметить также, что измерения на борту предлагаемого спутника, имеют большое значение не только с точки зрения регистрации краткосрочных предвестников землетрясений, но и с точки зрения солнечно-земной физики и исследований космической погоды. По своей научной значимости они ничуть не уступают результатам сейсмо-ионосферных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pulinets S.A., Boyarchuk K.A., Ionospheric Precursors of Earthquakes, Springer, Berlin, Heidelberg, New-York, 315 p., 2004.
2. Pulinets S.A., Ionospheric precursors of earthquakes; recent advances in theory and practical applications, Terr., Atm. Ocean Sci., 15, 445-467, 2004.
3. Pulinets S.A., Ouzounov D., Karelin A.V., Boyarchuk K.A., Pokhmelnykh L.A., The physical nature of thermal anomalies observed before strong earthquakes, Physics and Chemistry of the Earth, 31, No 5-6, 1926-1940, 2006a.
4. Пулинец С.А., Лью Дж.Й., Ионосферные предвестники землетрясений, в сб. Кратко- срочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью наземных радиофизических и космических методов, изд. Института физики Земли РАН, 26-44, 1998.
5. Пулинец С.А., Легенька А.Д., Динамика приэкваториальной ионосферы перед сильными землетрясениями, Геомагнетизм и аэрономия, 42, № 2, 227-232, 2002.
6. Пулинец С.А., Легенька А.Д., Зеленова Т.И., Зависимость сейсмоионосферных вариаций в максимуме слоя *F* ионосферы от местного времени, Геомагнетизм и аэрономия, 38, № 3, 188-193, 1998b.
7. Parrot M., The micro-satellite DEMETER, Jouranl of Geodynamics, 33, 535-541, 2002
8. Jason S., Pulinets S., da Silva Curiel A., Liddle D., Earthquake forecast science research with a small satellite, Royal Soc. Philosoph. Trans.: Math., Phys.&Eng. Sci., 361, No. 1802, pp. 169-173, 2003.
9. Pulinets S.A., Space technologies for short-term earthquake warning, Adv. Space Res., 37, 643-652, 2006.
10. Pulinets S., Ouzounov D., Parrot M., Conjugated near-equatorial effects registered by DEMETER satellite before Sumatra earthquake M8.7 of March 28, 2005, International Symposium 2006c
11. Pulinets S.A., Kiraga A., Klos Z., Ionospheric mapping using satellite data of natural HF noise, Adv. Space Res. 10, No 8, p.(8)71- (8)74, 1990

12. Hattory K., The ionospheric tomography based on the neural network approach (private communication) 2010
13. Pulinets S.A. Benson R.F., Radio-Frequency Sounders in Space, Review of Radio Science, Ed. W. Ross Stone, Oxford University Press, Chapter 28, 711-733, 1999
14. Lebreton J.-P., S. Stverak, P. Travnicek, M. Maksimovic, D. Klinge, S. D. Lagoutte, B. Poirier, P.-L. Blelly, Z. Kozacek, M. Salaquarda, The ISL Langmuir probe experiment processing onboard DEMETER: Scientific objectives, description and first results, Planetary and Space Science 54, 472–486, 2006
15. Yufei He, Dongmei Yang, Rong Zhu, Jiadong Qian and M. Parrot, Variations of electron density and temperature in ionosphere based on the DEMETER ISL data, Earthquake Science, 23, 349-355, 2010
16. Chmyrev V.M., Isaev N.V., Serebryakova O.N., Sorokin V.M., Sobolev Y.P. Small-Scale Plasma Inhomogeneities and Correlated ELF Emissions in the Ionosphere over an Earthquake Region, J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 59, 967-974, 1997
17. Bhattacharya S., Sarkar S., Gwal A.K., Parrot M., Observations of ULF/ELF anomalies detected by DEMETER satellite prior to earthquakes, Indian Journal of Radio & Space Physics, 36, 103-113, 2007
18. Pulinets S., Ouzounov D., Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling (LAIC) model - an unified concept for earthquake precursors validation, Asian Journal of Earth Sciences, 39, 2010, doi:10.1016/j.jseaes.2010.03.005

УДК 550.3

СЕЙСМОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОБЛАСТЬ F2 АТМОСФЕРЫ

Д.А. Поздняков

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

d_myxa@mail.ru

Ключевые слова: подземный оползень, упреждение землетрясений, приливное воздействие, сгущение в ионосфере.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее выдвигалась гипотеза о том, что катастрофические землетрясения предваряются специфическими ионосферными возмущениями [1]. При этом время упреждения оценивается равным 10-14 часов. Использованные данные о местном времени моментов главного удара сильнейших и катастрофических землетрясений на территории Японии [2] (рис. 1), а также на территории Бенгальского залива, Мексики и Перу (рис. 2) привели к гипотезе о том, что среднее время упреждения – 12 часов обусловлено полусуточным интервалом между лунно-солнечным приливом.

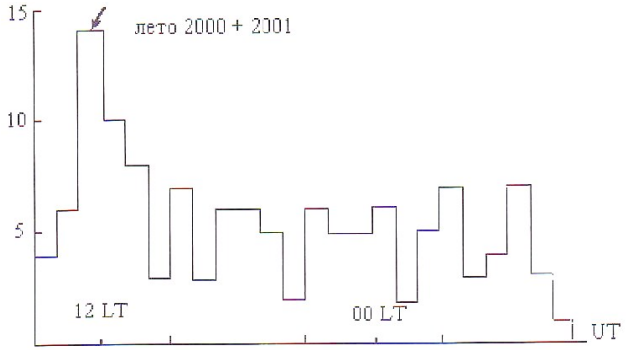


Рис. 1 Диаграмма суточного распределения землетрясений в Японии в 2001 году

ОБОСНОВАНИЕ ГИПОТЕЗЫ

Просчёт в обратном порядке через цепочку станций времени возникновения положительного возмущения в ионосфере ($\delta f_0F2>0$, до 60%, горизонтальные размеры 1-4 тыс. км) позволил оценить скорость кажущегося перемещения сгустка ионосферной плазмы $V_к \approx 1$ тыс. км/ч. При этом уровень солнечной активности оставался невысоким.

Рис. 2 Диаграмма суточного распределения землетрясений на территории Бенгальского залива с 12.2004 по 02.2005

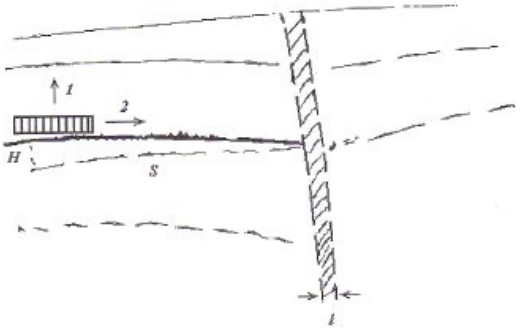


Рис. 3 Модель движения фрагмента подземного рельефа

На основании этих данных была выдвинута гипотеза о цепочке событий, вызывающей появление сгустка и среднем времени упреждения по отношению к землетрясению – 12 часов [1]. По

аналогии с гипотезой о причинах возникновения цунами от оползней на поверхности дна океана, в данной работе выдвигается гипотеза о перемещении подземных оползней перпендикулярно к границе раздела литосферных плит (рис. 3).

Основной причиной появления подземного оползня можно рассматривать суммарное влияние Луны и Солнца в виде приливных воздействий, достигающих максимума в местные полдень и полночь.

Существующая гипотеза состоит в том, что под влиянием приливов сдвигаются с места фрагменты подземного рельефа, в итоге приводя к локальным изменениям свойств ионосферы. Так, согласно [3] на границе фрагмента могут быть значительные локальные напряжённости электрического поля порядка 10^5 В/см. При движении фрагментов области большой напряжённости поля могут перемещаться. Вероятно, возмущение, возникающее в результате такого перемещения, может перемещаться по вертикали вплоть до ионосферы [4]. Предполагается, что подобное возмущение по причине макромасшабной неустойчивости ионосферы, приводит к образованию движущейся неоднородности электронной концентрации.

Предполагается, что путь фрагментов до границы литосферной плиты длится 12 часов. Этот временной интервал отделяет событие сдвига фрагмента рельефа под влиянием прилива от события «удара» о границу между литосферными плитами. При этом кинетическая энергия движения фрагмента при ударе о границу литосферной плиты приводит к локальному выделению энергии плотностью до 10^3-10^4 Дж/м^3. Этого, согласно [5] достаточно, чтобы произошло землетрясение.

В соответствии с данной цепочкой гипотез должны наблюдаться определённые максимумы в избыточной плотности землетрясений в окрестностях полудня и полуночи. При этом естественно было выбирать участки эпицентров, расположенные вблизи границ литосферных плит. То есть локальное чередование совместных приливных воздействий определяется половиной времени суток. Исходя из этой картины, можно трактовать двенадцати часовое упреждение землетрясений попеременными эффектами.

Максимумы землетрясений также приходятся на это время. Исходя из этого, можно говорить о 12-ти часовом упреждении землетрясений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная модельная схема получила первое подтверждение на основе данных, полученных на территории Японии. В зоне Бенгальского залива, а также на территории Мексики и Перу кроме полуденных и полночных максимумов наблюдаются и другие. В

дальнейшем планируется провести анализ данных по последним землетрясениям, произошедших в марте 2011 года, и на основании полученной информации внести в теорию дополнения и уточнения. Также планируется изучение явления «суперлуния» [6] и других механизмов запуска землетрясений, таких как вспышка на Солнце или магнитная буря [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин Ю.К., Сергеенко Н.П., Горенко В.А. Сейсмогенная компонента в данных долгосрочного прогноза критической частоты области F2 среднеширотной ионосферы. Труды ИПГ. Выпуск 84. Проблемы георадиофизики области F2 ионосферы. С. 156-161. 2006.
2. Калинин Ю.К., Сергеенко Н.П. Движущиеся уединённые макромасштабные неоднородности, возникающие в ионосфере за несколько часов до катастрофических землетрясений. ДАН. Т. 387. №1 С. 105-107. 2002.
3. Лапшин В.Б., Гончарук В.В., Гребенникова Т.В., Широков Е.В., Семенов Д.С., Морозов В.Н., Плетенев С.С., Самсони-Тодоров А.О., Таранов В.В., Плотникова Н.В., Фролова Е.Ю., Сыроешкин А.В. Эхо солнечных бурь и галактических событий у поверхности Земли. Труды ИПГ. Выпуск 89. 55 незабываемых лет. С. 69-79. 2010.
4. Пулинец С.А., Узунов Д. Спутниковым технологиям нет альтернативы. О проблеме мониторинга природных и техногенных катастроф. Труды ИПГ. Выпуск 89. 55 незабываемых лет. С. 173-185. 2010.
5. Гуфельд И.Л., Гусев Г.А. Современное состояние работ по прогнозу землетрясений (есть ли выход из тупика?). Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов. С 7-25. 1998.
6. http://news.mail.ru/society/5498697/?state=90
7. http://www.infox.ru/science/planet/2011/03/15/Zyemlyetryasyeniya_v.phtml

РАЗЛИЧНЫЕ ВОПРОСЫ ГЕЛИО-ГЕОФИЗИКИ

УДК 539.107 + 541.126

МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ БОЛЕЕ 100 КЭВ ПРИ РАЗВИТИИ ЦИКЛОТРОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

Ю.С. Барсуков

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

svargos@yandex.ru

Ключевые слова: внешний радиационный пояс, циклотронная неустойчивость.

ВВЕДЕНИЕ

Земля окружена кольцом из электронов и ионов с энергиями от 10 кэВ до десятков МэВ. Эта область пространства, находящаяся на расстоянии от 2 до 6 радиусов Земли, получила название радиационных поясов. Различают внутренний и внешний радиационные пояса. Внутренний пояс находится на расстоянии от 2 до 3 радиусов Земли. Внешний – от 3,5 до 7 радиусов Земли. Одним из механизмов потерь частиц радиационных поясов является циклотронная неустойчивость. Она развивается в системе из трех компонент: горячие электроны радиационного пояса, холодные электроны плазмосферы (либо дакты), наличие в системе электромагнитных волн в свистовом диапазоне. Циклотронный резонанс возникает, если угловая частота волны связана с гирочастотой электрона соотношением:

$$\omega_B = \omega + (\vec{k}\vec{w}_{II})$$

в системе отсчёта движущейся вместе с электроном. Развитие циклотронной неустойчивости может быть смоделировано решением системы двух уравнений [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial \theta}\left(DE\frac{\partial F}{\partial \theta}\right) + J \\ \frac{\partial E}{\partial t} &= \left(\int_0^{\infty}\int_{\theta_c}^{\theta} K\frac{\partial F}{\partial \theta}\,d\theta dw\right)E - \nu E \end{aligned} \qquad (1)$$

Первое – уравнение диффузии по питч-углам для функции распределения энергичных частиц. Второе – обыкновенное дифференциальное уравнение для амплитуды волны. Здесь θ- синус питч-угла, F – функция распределения, D – коэффициент питч-угловой диффузии, J – источник частиц, E – амплитуда волны, w – полная скорость частицы. Если плазма удовлетворяет критерию:

$$\beta_k = (\frac{\omega_p}{\omega_B})^2 (\frac{w_0}{c})^2 >> 1$$

то преобладающей является диффузия по питч-углам, над диффузией по энергии и L-оболочкам (для электронов с энергией порядка 100 кэВ и волн свистового диапазона в магнитосфере Земли это соотношение достаточно хорошо выполняется [2]).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Фиксируем энергию частицы:

$$J(t,\theta,w) = J_\Sigma(t,\theta)\delta(w - w_0)$$
$$F(t,\theta,w) = N(t,\theta)\delta(w - w_0)$$

Считаем, что амплитуда волны зависит только от времени:

$$E = E(t)$$

При таких предположениях система уравнений (1) сводится к следующей:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \theta}\left(DE\frac{\partial N}{\partial \theta}\right) + J_\Sigma \qquad (2)$$
$$\frac{\partial E}{\partial t} = \left(\int_{\theta_c}^{\theta} K\frac{\partial N}{\partial \theta}d\theta\right)E - \nu E$$

Начальное условие для питч-углового распределения задаём в виде:

$$N_0(\theta) = \theta^2 - \theta_c^2$$

Граничные условия:

$$\theta = \theta_c \Rightarrow N(t,\theta_c) = 0$$
$$\theta = \theta_m \Rightarrow \frac{\partial}{\partial \theta}N(t,\theta_m) = 0$$

Предположим, что входящие в уравнение коэффициенты линейно зависят от питч-угла, тогда система уравнений (2) вырождается в следующую:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D_0 E_* t_* \frac{\partial}{\partial \theta}\left(\theta E \frac{\partial N}{\partial \theta}\right) + J_\Sigma$$
$$\frac{\partial E}{\partial t} = k_0 N_* t_* \left(\int_{\theta_c}^{\theta_\pi} \theta \frac{\partial N}{\partial \theta} d\theta\right) E - \nu t_* E \qquad (3)$$

Предположим, что в системе сохраняется полное число частиц. В этом случае поступление частиц в систему определяется как:

$$I(t) = \frac{D_0 E_* t_* \theta_c E \frac{\partial N}{\partial \theta}\Big|_{\theta=\theta_c}}{\frac{2}{3}\theta_{\theta_c}^3 - \theta_c^2 \theta_m + \frac{\theta_m^3}{3}}$$

Если число частиц в системе сохраняется, то уравнение для амплитуды волны интегрируется:

$$E(t) = \exp\left\{(k_0 N_* t_*\left[\theta_m N(t,\theta_m) - \frac{2}{3}\theta_{\theta_c}^3 + \theta_c^2 \theta_m - \frac{\theta_m^3}{3}\right] - \nu t_*)t\right\}$$

Подставляя это решение в уравнение диффузии по питч-углам:

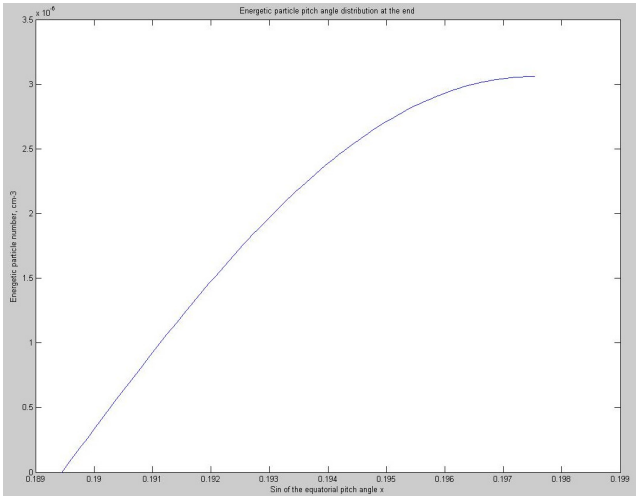
$$\frac{\partial N}{\partial t} = D_0 E_* t_* \frac{\partial}{\partial \theta}\left\langle \theta \exp\left\{(k_0 N_* t_*\left[\theta_m N(t,\theta_m) - \frac{2}{3}\theta_{\theta_c}^3 + \theta_c^2 \theta_m - \frac{\theta_m^3}{3}\right] - \nu t_*)t\right\}\right\rangle + I(t)(\theta^2 - \theta_c^2)$$

Оно может быть проинтегрировано численно.

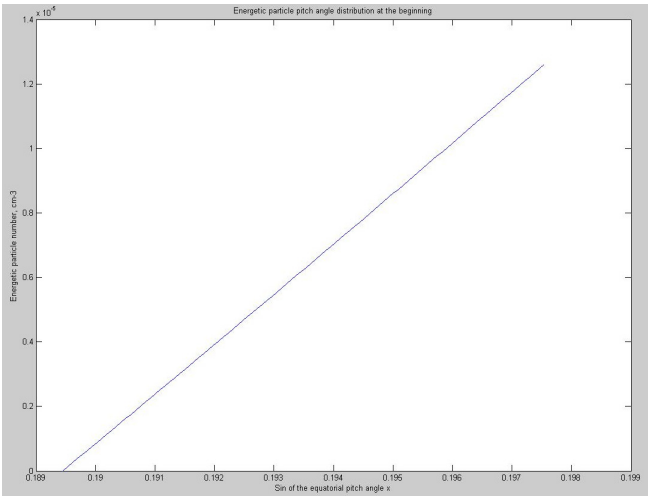
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

На рисунках представлены предварительные результаты расчетов. На рис. 1 видно, что при небольших L развитие циклотронной неустойчивости приводит к формированию плато на функции распределения энергичных частиц по питч-углам. С увеличением L (рис. 3) плато становится всё менее выражено. Однако, расчёт показывает, что на самой внешней границе внешнего радиационного пояса, плато появляется вновь (рис. 5). Плато возникает в связи с существованием минимальной продольной энергией электронов $W_{min}=mv^2_{min}/2$, взаимодействующих с волнами на циклотронном резонансе. Электроны с $W_{||}>W_{min}$ испытывают питч - угловое рассеяние на волнах и высыпаются из геомагнитной ловушки через конус потерь, частицы с $W_{||}<W_{min}$ не принимают участие в

резонансном взаимодействии, что и определяет появление плата при $W_{||}=W_{min}$ [1].

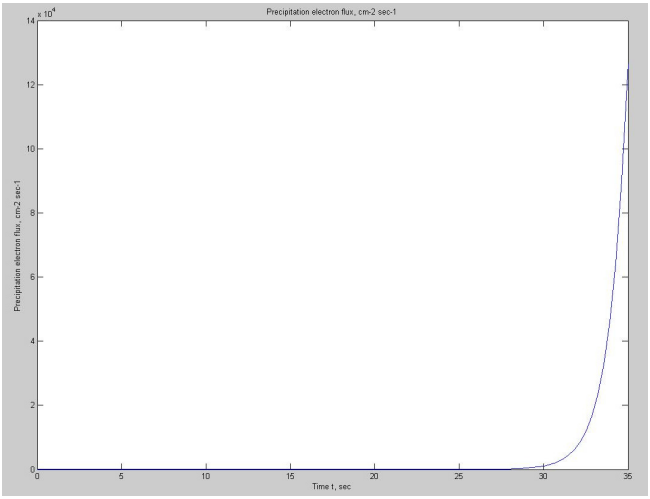


а

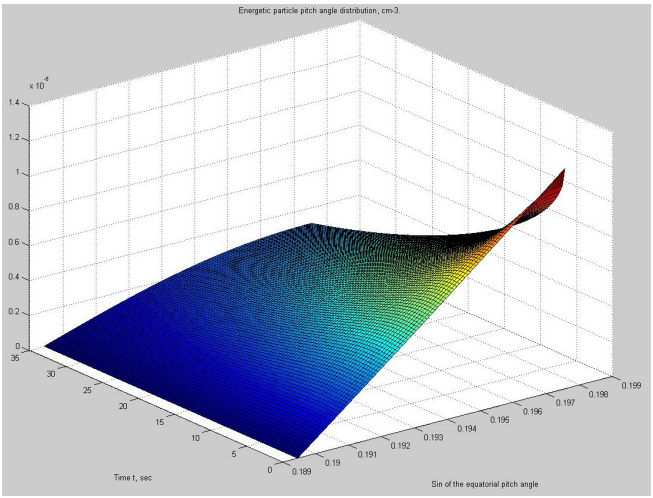


б

Рис. 1. Зависимость от времени функции распределения частиц по питч - углам до (а) и после (б) развитии циклотронной неустойчивости для L=2.55



а



б

Рис. 2. Зависимость от времени потока высыпающихся в конус потерь электронов при развитии циклотронной неустойчивости (а);
Эволюция во времени функции распределения энергичных электронов (б).
Для L=2.55

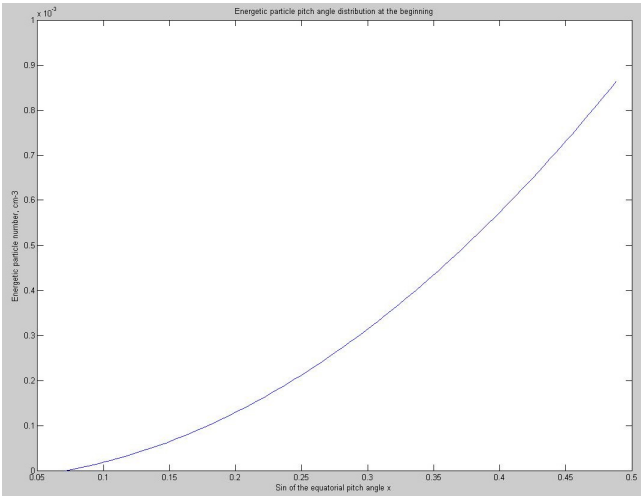


Рис. 3 а Зависимость от времени функции распределения частиц по питч - углам до развития циклотронной неустойчивости для L=4.75

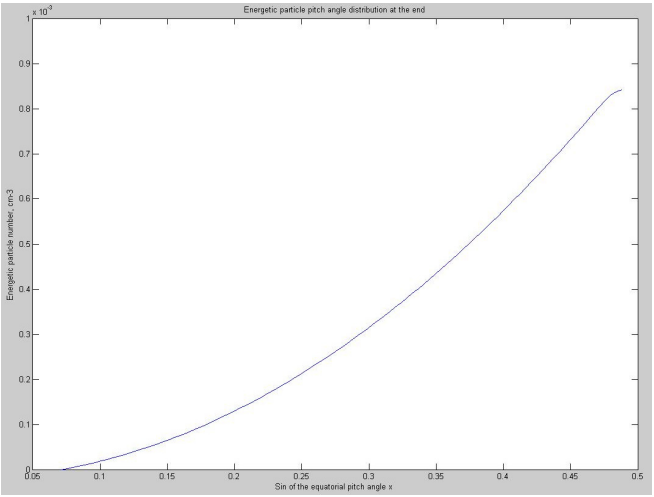


Рис. 3 б. Зависимость числа энергичных частиц от питч - угла после развития циклотронной неустойчивости для L=4.75

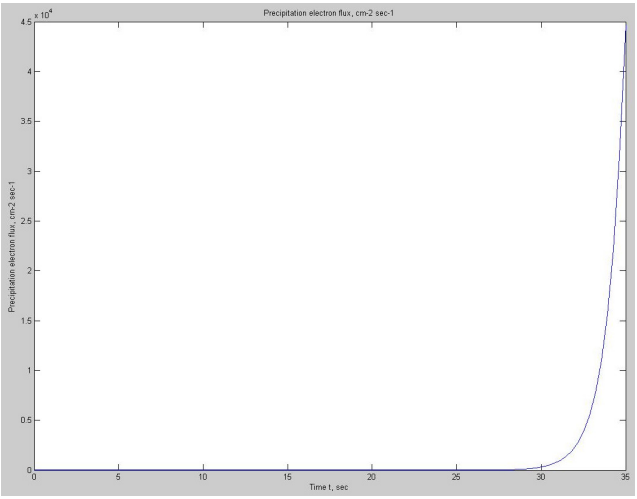


Рис. 4 а. Зависимость от времени потока высыпающихся в конус потерь электронов при развитии циклотронной неустойчивости. Для L=4.75

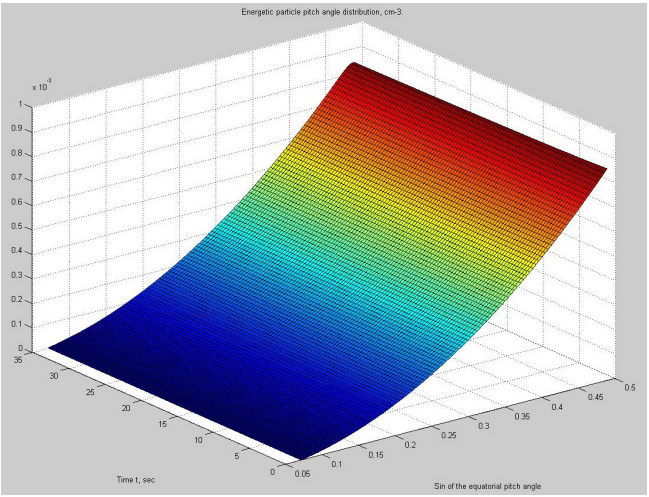


Рис. 4 б. Эволюция во времени функции распределения энергичных электронов. Для L=4.75

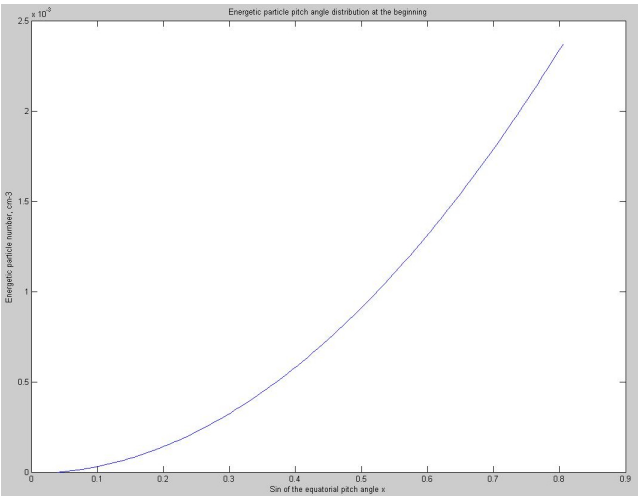


Рис. 5 а. Зависимость числа энергичных частиц от питч - угла до развития циклотронной неустойчивости для L=7

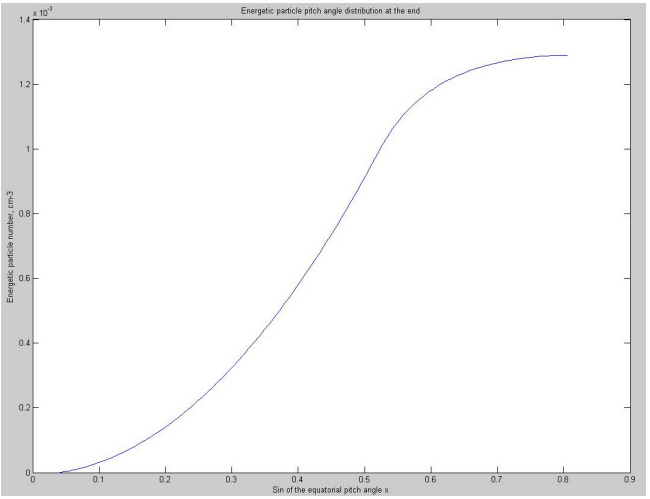


Рис. 5 б. Зависимость числа энергичных частиц от питч-угла после развития циклотронной неустойчивости для L=7

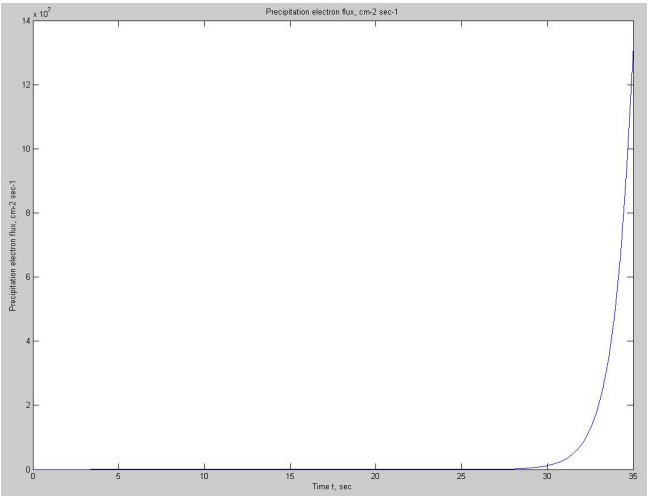


Рис. 6 а. Зависимость от времени потока высыпающихся в конус потерь электронов при развитии циклотронной неустойчивости. Для L=7

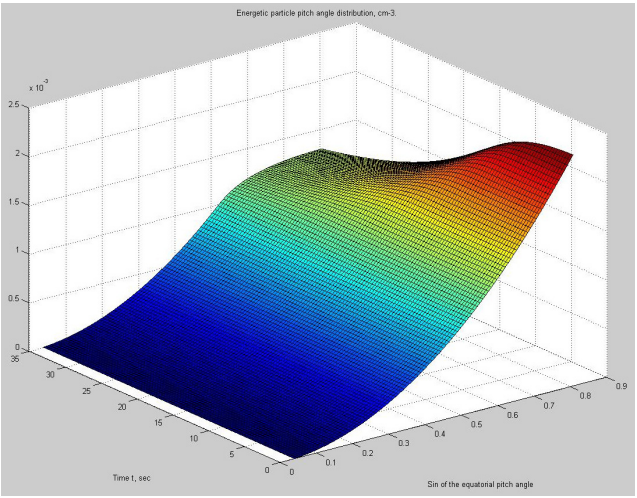


Рис. 6 б. Эволюция во времени функции распределения энергичных электронов. Для L=7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы: рассчитанные потоки энергичных электронов, высыпающиеся в конус потерь, согласуются с экспериментальными данными, приведёнными в [2]. При малых и больших L на функции питч-уголового распределения энергичных электронов формируется плато. При L от 3 до 6 плато практически не формируется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трахтенгерц В.Ю., Демехов А.Г., Магнитосферные циклотронные мазеры. В кн. Плазменная гелиофизика, в 1т., М., ФИЗМАТЛИТ, 2008. – т.I. – с. 552-569.
2. Беспалов П.А., Трахтенгерц В.Ю., Альвеновские мазеры. Горький, 1986.

УДК 539.107 + 541.126

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСЫПАНИЙ ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА «МЕТЕОР 3М №1» ЗА 2002 ГОД

Ю.С. Барсуков

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

svargos@yandex.ru

Ключевые слова: внешний радиационный пояс, статистика высыпаний энергичных электронов.

ВВЕДЕНИЕ

Область околоземного космического пространства, в которой сосредоточены потоки высокоэнергичных электронов, захваченных магнитным поясом Земли, получила название радиационного пояса Земли. Предмет исследования настоящей статьи – события высыпаний энергичных электронов с энергией свыше 100 кэВ из внешнего радиационного пояса.

АНАЛИЗ

В работе используются данные о скоростях счёта гейгеровского датчика, регистрирующего во внешнем поясе электроны с энергией более 100 кэВ. установленного на ИСЗ «Метеор 3М №1». Пример события высыпания, которые анализируются в настоящей статье, приведен на рис. 1. Событие отмечено на рис. 1 кружком, на который направлена стрелка.

В 2002 году аппаратура ИСЗ «Метеор - 3М №1» зафиксировала 84 таких события.

На рис. 2 показано распределение событий высыпаний в зависимости от напряженности геомагнитного поля в точке наблюдения события.

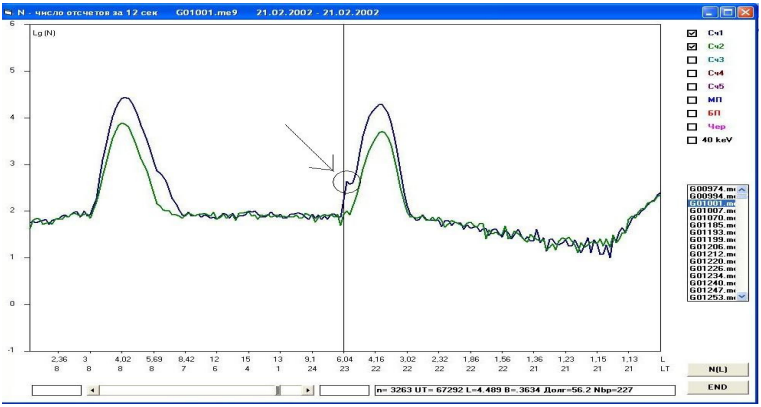


Рис. 1. Пример события высыпания электронов.

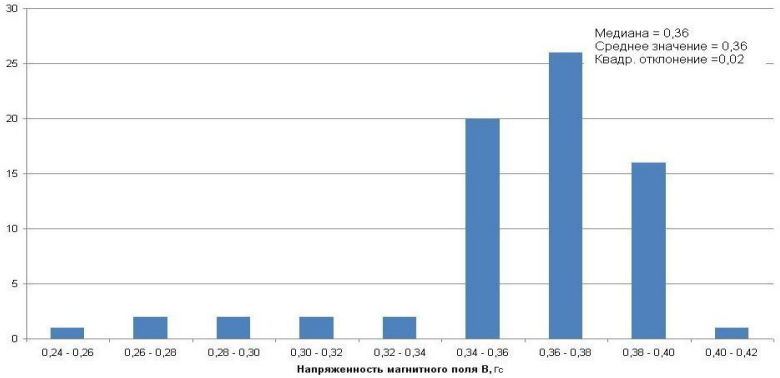


Рис. 2 Распределение событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от напряженности геомагнитного поля.

Оказалось, что в основном, события высыпаний происходят при значениях напряжённости геомагнитного поля в точке наблюдения, в интервале от 0,34 до 0,4 Гс. При этом среднее значение напряжённости геомагнитного поля в точке наблюдения равно 0,36 Гс, при среднем квадратичном отклонении 0,02 Гс. Значение медианы в данном случае совпадает со средним значением и равно 0,36 Гс.

На рис. 3 показано распределение событий высыпаний в зависимости от параметра Мак-Илвайна.

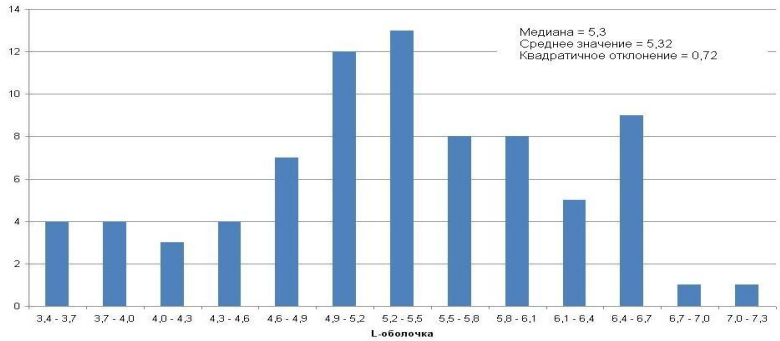


Рис. 3 Распределение событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от L-оболочки

По результатам наблюдения можно заключить, что, максимальное количество событий высыпаний, происходят на L-оболочках, в интервале от 4,9 до5,5. При этом среднее значение L-оболочки, на которой происходят события высыпаний, равно 5,32, при среднем квадратичном отклонении 0,72. Значение медианы равно 5,3.

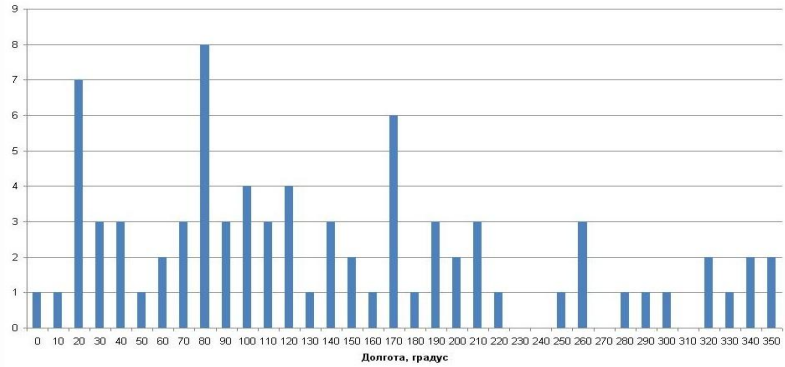


Рис. 4 Распределение событий высыпаний энергичных электронов от долготы

На рис. 4 показано распределение событий высыпаний в зависимости от долготы точки наблюдения события.

На рис. 4 отчётливо просматриваются три пика. Первый – на долготе ~ 20 градусов в Скандинавии, второй – на долготе

~ 80 градусов в западной Сибири (долгота Новосибирска) и третий – на долготе ~ 170 градусов в районе Берингова пролива.

Объяснение этого результата и распространение подобной статистики на последующие годы будет предметом дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам анализа данных о событиях высыпаний энергичных электронов, зарегистрированных аппаратурой спутника «Метеор 3М №1», было установлено: события высыпаний происходят в основном на интервалах напряженности геомагнитного поля от 0,34 до 0,4 Гс, параметрах Мак-Илвайна от 4,9 до5,5, а также на долготах со значениями 20, 80 и 170 градусов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковтюх А.С., Панасюк М.И., Радиационные пояса Земли. В кн. Плазменная гелиофизика, в 2 т. (Под ред. Л.М. Зеленого, И.С. Веселовского), М., ФИЗМАТЛИТ, 2008. – т.I. – 672 с., т II – 560 с., ISBN 978-5-9221-1040-2, т. I, с. 510-534

УДК539.1.01

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОГО СЕЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО КИСЛОРОДА В ОБЛАСТИ ДЛИН ВОЛН ВБЛИЗИ ЛИНИИ ЛАЙМАН-АЛЬФА

А.А. Важенин

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

andrei.vajenin@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

В ряде геофизических задач, связанных с распространением солнечного излучения в атмосфере Земли, необходимо иметь данные о зависимости сечения поглощения отдельных газов от длины волны. В частности, в задачах о поглощении УФ солнечного излучения вблизи наиболее интенсивной линии Лайман-альфа необходимо знать сечения поглощения молекулярного кислорода, т. к. именно этот газ является основным поглотителем крайнего УФ-излучения в волновом диапазоне в области линии Лайман-альфа [4].

Данные, публикуемые различными авторами, зачастую трудно или вовсе невозможно использовать в расчётах. Так, например, вблизи линии Лайман-альфа, в середине диапазона от 1210 до 1220 Å, сечение поглощения молекулярного кислорода имеет глубокий минимум, а на краях этого диапазона – на один-два порядка больше [1], как показано на рисунке 1.

При этом в большинстве измерений, проводимых с невысоким спектральным разрешением, интенсивность излучения Солнца в середине этого же диапазона имеет максимум, более чем на два порядка превышающий интенсивность на границах диапазона [6] – см. рисунок 2.

В то же время, на данных, полученных с высоким разрешением по длине волны (см., например, [2]), видно, что солнечное излучение в диапазоне 1215–1217 Å имеет два максимума, между которыми существует ярко выраженный минимум, как показано на рисунке 3.

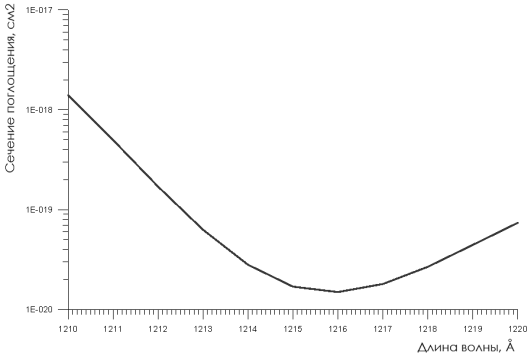


Рис. 1. Сечение поглощения молекулярного кислорода в диапазоне 1210–1220 Å.

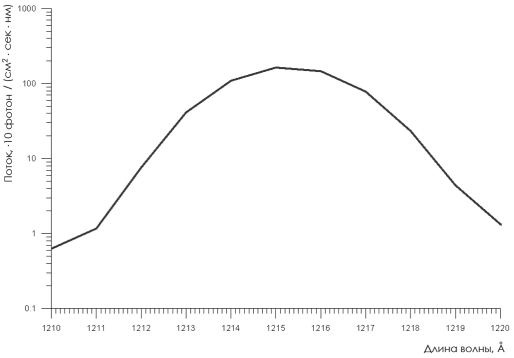


Рис. 2. Поток солнечного излучения в диапазоне длин волн 1210–1220 Å.

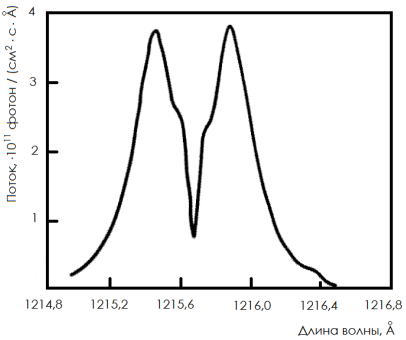


Рис. 3. Поток солнечного излучения в диапазоне длин волн 1215–1217 Å.

Существование сложной структуры профиля линии Лайман-альфа приводит к необходимости пересмотра данных о сечении поглощения молекулярного кислорода при проведении расчётов, которые используют данные об излучении, полученные с низким спектральным разрешением. В этом случае целесообразно использовать эффективное сечение поглощения, рассчитываемое с учётом тонкой структуры спектра интенсивности излучения в области длин волн от 1210 до 1220 Å и подробных данных о сечении поглощения молекулярного кислорода.

ВЫЧИСЛЕНИЯ

Эффективное сечение поглощения $\sigma_{эфф}$ для конкретной длины волны можно вычислить исходя из закона поглощения:

$$\frac{dI}{dx} = -I\sigma n(h)\sec(\chi)$$

где I – интенсивность солнечного излучения, $n(h)$ – концентрация молекулярного кислорода на высоте h, χ – зенитное расстояние Солнца. Из (1) следует:

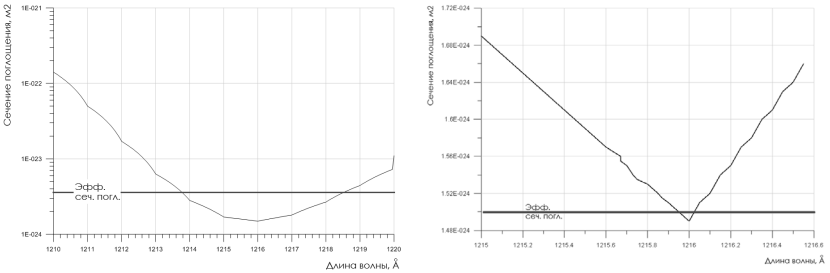
$$\sigma_{эфф} = \frac{-\ln(I/I_0)}{n(h)\cdot H(h)\cdot Ch(h,\chi)}$$

где I_0 – интенсивность неослабленного излучения, $H(h)$ – шкала высот на высоте h, $Ch(h,\chi)$ – функция Чепмена на высоте h при зенитном расстоянии Солнца χ. В свою очередь, ослабление I/I_0 для участка спектра $[\lambda_1, \lambda_2]$ рассчитывается как:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} J(\lambda)\cdot\exp\left(-\sigma(\lambda)\cdot n(h)\cdot H(h)\cdot Ch(h,\chi)\right)d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} J(\lambda)d\lambda}$$

где $J(\lambda)$ – неослабленная интенсивность излучения, приходящего от Солнца, на длине волны λ. Если обозначить множитель $\left(-\sigma(\lambda)\cdot n(h)\cdot H(h)\cdot Ch(h,\chi)\right)$, представляющий собой оптическую толщу, как $\tau(\lambda)$, получается:

Для двух, указанных выше диапазонов – широкого ($\lambda_1 = 1210$Å, $\lambda_2 = 1220$Å) и узкого($\lambda_1 = 1215$Å, $\lambda_2 = 1217$Å) – были проведены расчёты эффективного сечения поглощения $\sigma_{эфф}$ при одних и тех же значениях высоты и зенитного расстояния (200 км и 105°). Результаты показаны на рисунке 4.



а б

Рис. 4. Сечение поглощения и эффективное сечение поглощения молекулярного кислорода в диапазонах1210–1220 Å (а) и 1215–1217 Å (б).

Видно, что для более широкого диапазона длин волн за величину эффективного сечения поглощения можно принять величину, составляющую примерно $3{,}5 \cdot 10^{-20} см^2$ (рис. 4, а), а для более узкого – $1{,}5 \cdot 10^{-20} см^2$ (рис. 4,б), что примерно в 1,5 раза больше, чем величина сечения поглощения молекулярного кислорода, обычно используемая для линии Лайман-альфа. Это изменение, небольшое на первый взгляд, может оказать существенное влияниена результаты аэрономических расчётов, т. к. солнечное излучение в области длин волн вблизи линии Лайман-альфа несёт с собой значительную энергию в крайнем ультрафиолетовом диапазоне, что хорошо видно из рисунка 5.

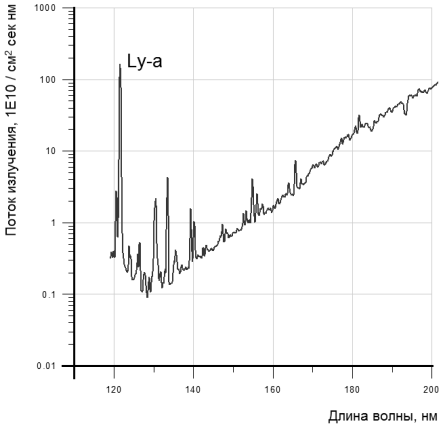


Рис. 5. Солнечный спектр в ультрафиолетовой области

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТА

Для оценкивлияния величины сечения поглощения молекулярного кислорода на расчёты ослабления солнечного УФ излучения в атмосфере были проведены расчёты ослабления излучения с использованием стандартного значения и значения эффективного сечения поглощения. Результаты расчётов приведены на рисунке 6.

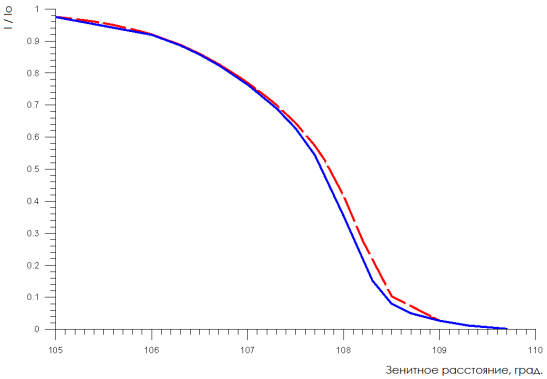


Рис. 6. Влияние величины сечения поглощения молекулярного кислорода на расчёты ослабления солнечного УФ излучения в атмосфере Земли

Пунктирной линией показан график зависимости ослабления излучения от зенитного расстояния Солнца при условии, когда сечение поглощения на длине волны 1216 Å равняется $1{,}0 \cdot 10^{-20} см^2$ (обычно

используемое значение). Сплошной линией показан график ослабления излучения, рассчитанный при величине сечения поглощения, в 5 раз большей своего обычного значения. Причём сечения поглощения на других длинах волн из диапазона чувствительности прибора ВУСС-Л (~1210-2400 Å) взяты без изменений те, которые приводятся в литературе [1; 3; 7]. Как видно, ослабление солнечного излучения при этом происходитгораздо сильнее.

Таким образом, небольшое изменение величины сечения поглощения молекулярного кислорода на участке длин волн вблизи линии Лайман-альфа оказывает заметное влияние на ослабление солнечного излучения в атмосфере.

ВЫВОДЫ

При проведении расчётов в ряде геофизических задач следует использовать значение сечения поглощения молекулярного кислорода в области длин волн вблизи линии Лайман-альфа (1216 Å), несколько отличающееся от стандартного. В частности, в описанной задаче следует использовать значение эффективного сечения поглощения молекулярного кислорода в 1,5 раза большее стандартного: $1{,}5 \cdot 10^{-20}\, см^2$ вместо $1{,}0 \cdot 10^{-20}\, см^2$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ватанабе К. Поглощение коротковолнового излучения в верхней атмосфере // Исследования верхней атмосферы с помощью ракет и спутников / Под ред. Г. С. Иванова-Холодного. – М.: Изд. иностр. лит., 1961. – с. 280-353.
2. Видаль-Мадьяр А. Спектр Солнца у λ 1216 Å // Поток энергии Солнца и его изменения под ред. О. Уайта. М.: «Мир», 1980. – 560 с.
3. Garriott O. K., Norton R. B., Timothy J. G. Molecular Oxygen Concentrations and Absorption Cross Sections in the Thermosphere Derived From Extreme Ultraviolet Occultation Profiles // J. Geophys. Res.: Space physics. Vol.82, No.32, November 1, pp.4973-4982, 1977.
4. Ogawa M. J. Geophys. Res., 73, 6759, 1968.
5. Watanabe K. Advance Geophysics, eds. H. E. Landsberg, J. Van Meighem, Academic Press, New York, 1958, p. 183.
6. Woods T. N. Recent advances in observations and modeling of the solar ultraviolet and X-ray spectral irradiance // Advances in Space Research, 2008, Vol.42, Issue 5, p. 895-902.
7. Yoshino K., Esmond J.R., Cheung A.S.-C., Freeman D.E., Parkinson W.H. High Resolution Absorption Cross Sections in the Transmission Window Region of the Schumann-Runge Bands and Herzberg Continuum of O2 // Planetary Space Science, Vol.40, No.2/3, pp. 185-192, 1992.

УДК 550.385

ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ В ТОЧКЕ СТОЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ГЕОСТАЦИОНАРНОГО СПУТНИКА «ЭЛЕКТРО»

А.А. Воронин

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

_voron@mail.ru

Ключевые слова: геостационарная орбита, магнитометр, геомагнитные пульсации, Электро.

ВВЕДЕНИЕ

Геомагнитные пульсации в основном регистрируются на геостационарных спутниках. Бортовой магнитометр геостационарного метеорологического спутника ЭЛЕКТРО-GOMS, выдавал один вектор в минуту. Таким образом, возможно зарегистрировать пульсации с периодами, превышающими 120 секунд. К таким пульсациям относятся Pc-4, Pc-5, Pc-6, Pi-2, Pi-3. Данные, полученные с борта ИСЗ «Электро», после их корректировки показаны на рисунке 1.

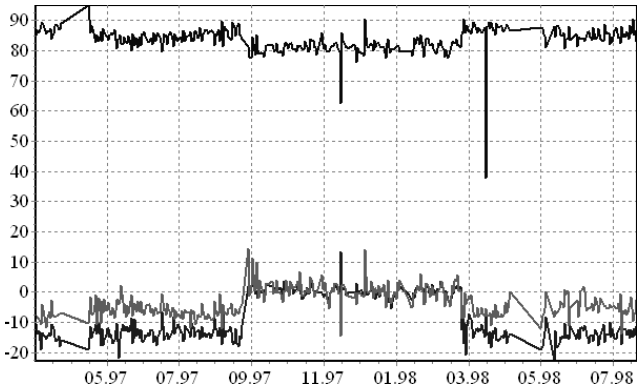


Рис. 1. Скорректированные данные бортовых магнитометров ИСЗ «Электро – GOMS»

Для проведения спектрального анализа необходимо иметь непрерывную последовательность данных. Из всех данных, полученных с бортовых магнитометров, были выбраны непрерывные участки, на которых и производился спектральных анализ. Один из таких участков показан на рисунке 2.

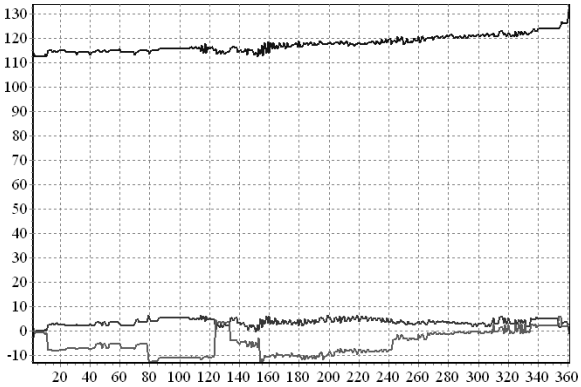


Рис. 2. Непрерывный участок данных

На рисунке хорошо видны возмущения во всех компонентах магнитного поля. Помимо этого, на рисунке видно, что в компонентах магнитного поля присутствуют прямоугольные импульсы. Поэтому спектр получается сильно зашумленным (см. рис. 3).

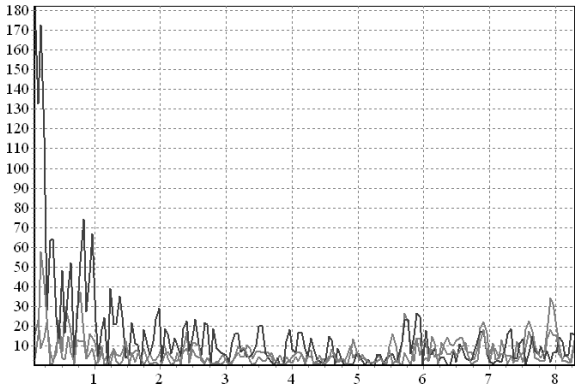


Рис. 3. Спектр компонент магнитного поля

Просмотр магнитометрических данных показал, что подобные импульсы появляются в разные дни в одно и тоже время. В связи с чем, было сделано предположение о том, что данные выбросы в компонентах магнитного поля, есть реакция на периодические включения / выключения бортовой аппаратуры спутника. Таким образом, эти выбросы не имеют отношения к магнитометрическим данным и могут быть устранены без потери информативности.

ФИЛЬТРАЦИЯ

Поскольку нас интересуют пульсации с периодами 150 – 600 секунд, то можно ограничить рассматриваемую область спектра частотами 2 – 7 мГц. Для этого необходимо пропустить компоненты магнитного поля через полосовой фильтр. В качестве такого фильтра был выбран фильтр Чебышева II рода с полосой пропускания 2 – 7 мГц. Импульсная характеристика фильтра показана на рисунке 4.

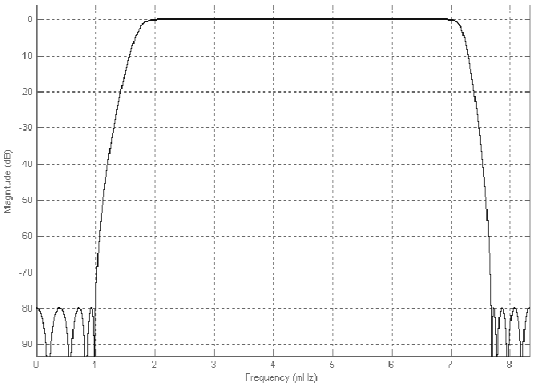


Рис. 4. Импульсная характеристика фильтра

Рассмотрим один из непрерывных участков данных, на котором присутствуют пульсации и попытаемся выделить полезный сигнал. На рисунке 5 показана X-компонента. Как видно из рисунка в сигнале присутствуют значительные помехи. Спектр, показан на рисунке 6. В спектре присутствует множество частот, не попадающих в требуемый диапазон и, соответственно, не представляющих интереса для анализа.

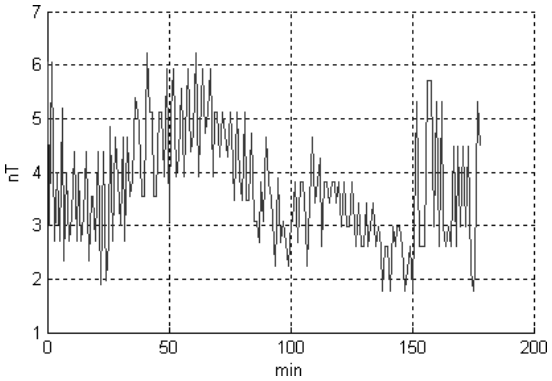


Рис. 5. X-компонента на одном из непрерывных участков данных

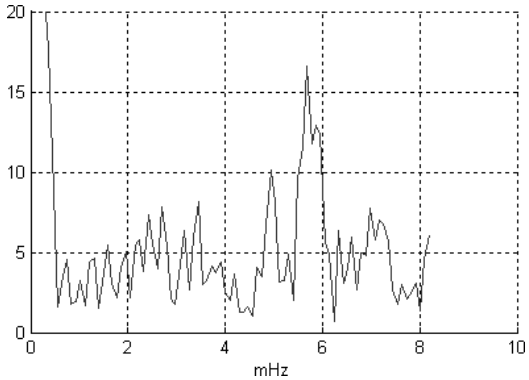


Рис. 6. Спектр X-компоненты после фильтрации

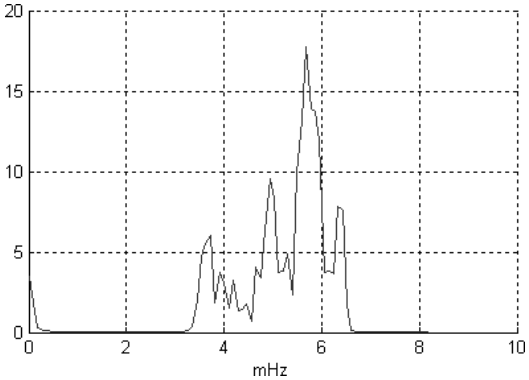


Рис. 7. Спектр X-компоненты после фильтрации

После фильтрации сигнала, с помощью полосового фильтра Чебышева, из X-компоненты удалось убрать все частоты, не попадающие в требуемый диапазон (см. рисунок 6). Значения X-компоненты после фильтрации показаны на рисунке 8.

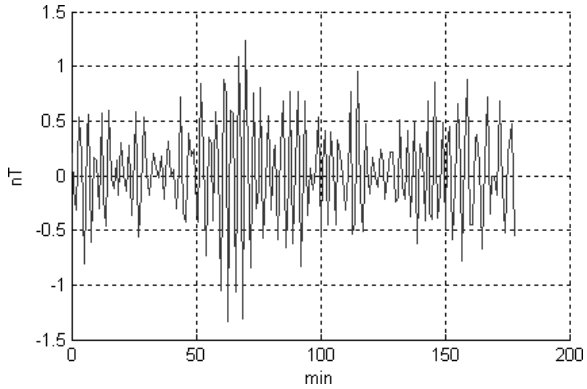


Рис. 8. Значение X-компоненты после фильтрации

В спектре отчетливо видны пики в районе 5 и 5.8 мГц, что соответствует периодам 200 и 172 секунды, соответственно. Таким образом, можно сделать вывод, что данные колебания относятся к пульсациям типа Pc-5.

АНАЛИЗ ДАННЫХ

Было проанализировано множество участков данных, на которых удалось идентифицировать геомагнитные пульсации Pc-5, с разными периодами. На рисунках, представленных ниже, в левом верхнем углу показано значение компоненты магнитного поля, в правом верхнем углу – спектр, в левом нижнем – значение компоненты после фильтрации, в правом нижнем – спектр отфильтрованных данных.

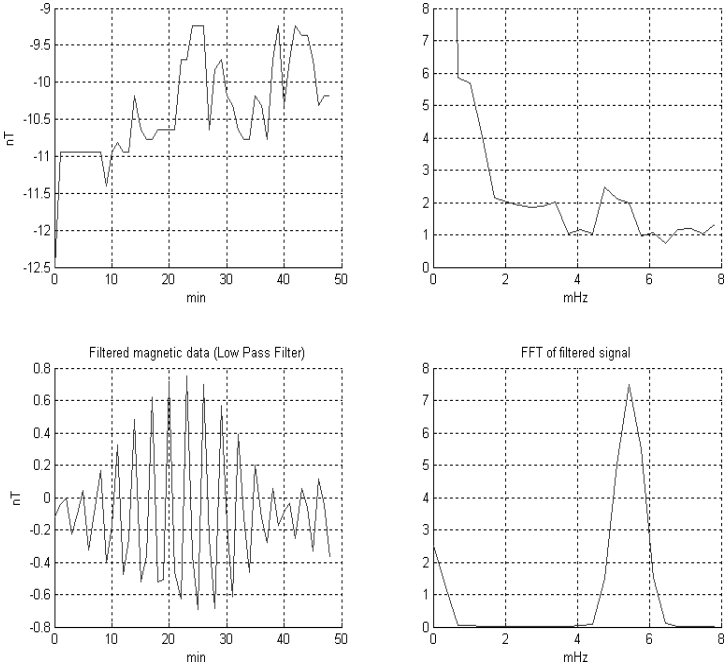


Рис. 9. Пульсация с периодом 180 секунд

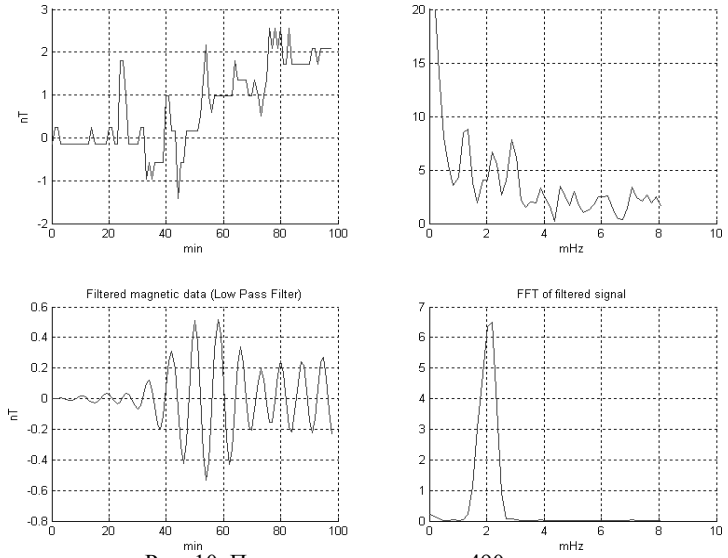


Рис. 10. Пульсация с периодом 490 секунд

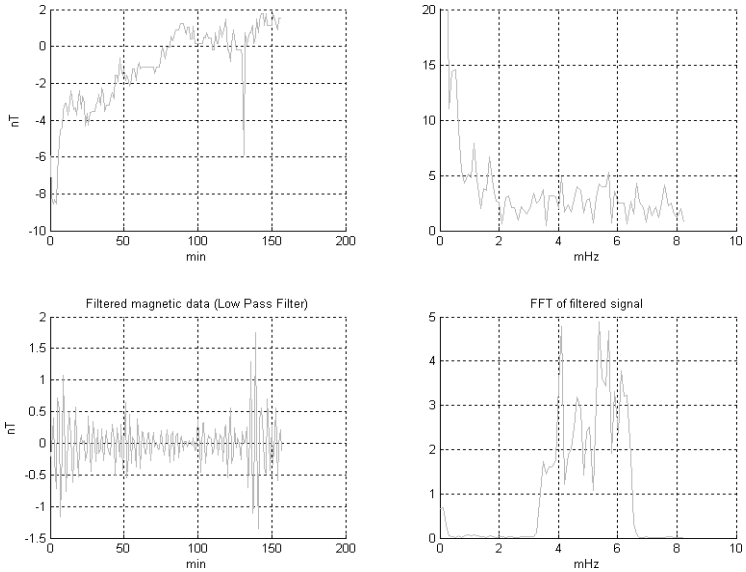


Рис. 11. Множество пульсаций с разными периодами

ВЫВОДЫ

Несмотря на неточную ориентацию геостационарного метеорологического спутника «Электро» и значительные помехи, вносимые работой бортовой аппаратуры, впервые удалось детектировать геомагнитные пульсации на геостационарной орбите по данным российского спутника. В данных было найдено множество пульсаций Pc-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. Пилипенко В.А. Импульсные и волновые возмущения в ночной магнитосфере. Плазменная гелиогеофизика. Том 1. стр 576.

УДК 551.501

ЛИДАРНЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА

К.А. Галкин

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

galkin_kirill@mail.ru

Давно известно, какую важную роль озон играет в атмосфере Земли. Для получения детальной информации о состоянии озонового слоя и возможности прогнозирования изменений в нем, необходимы соответствующие методы и измерительные средства, способные осуществлять мониторинг вертикального распределения озона с высоким временным и пространственным разрешением. Одним из наиболее перспективных инструментов такого рода являются лидарные системы. В данном докладе рассмотрена методика получения высотных профилей распределения озона, с помощью лидара дифференциального поглощения.

ОЗОН В АТМОСФЕРЕ

Озон (с др. греческого пахну) - состоящая из трёхатомных молекул аллотропная модификация кислорода. При нормальных условиях - голубой газ. При сжижении превращается в жидкость темно-синего цвета. В твёрдом виде представляет собой тёмно-синие, практически чёрные кристаллы. Газообразный озон был открыт еще в середине XIX века, но о том, что он содержится в атмосфере Земли, и является неотъемлемой частью биосферы, стало известно гораздо позже. Основной реакцией образования озона является реакция кислорода при участии тепла. $3O_2 + 68ккал(285кДж) \leftrightarrow 2O_3$

Таким же путем, с выделением тепла, озон может и распадаться, но основная часть распада приходится на реакции с другими компонентами атмосферы, такими как оксид азота или хлор например.

$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$

$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$

Причем молекула, участвовавшая в распаде озона, вскоре возвращается в начальное состояние.

$NO_2 + O \rightarrow NO + O_2$

$$ClO + O \rightarrow Cl + O_2$$

Поскольку большая часть озона в атмосфере образуется в результате фотохимических реакций, основная его масса сосредоточена в стратосфере, на высотах от 15 до 50 км (Рис. 1). Общее содержание озона в столбе атмосферного воздуха сильно зависит от широты местности и увеличивается к полюсам. Помимо этого существуют многолетние, годовые, сезонные и суточные вариации. Озон является очень малой составляющей атмосферы, но, несмотря на это, его присутствие очень важно. Молекулы озона поглощают свет в широком спектральном диапазоне от вакуумного ультрафиолетового до микроволнового участков спектра, причем наиболее интенсивное поглощение наблюдается для длин волн менее 3000 Å. Благодаря своим исключительным свойствам атмосферный озон является регулятором потока радиации, достигающей поверхности Земли. Истощение слоя озона приведет к увеличению ультрафиолетовой радиации, а изменение вертикального распределения озона может вызвать изменение нагрева атмосферы, и, следовательно, климата. В отличие от стратосферного, тропосферный озон является загрязнителем и может оказывать негативное влияние на живые организмы.

Рис. 1 Высотное распределение озона в атмосфере.[1]

Для изучения процессов генерации и переноса озона в атмосфере необходимы приборные средства, способные осуществлять контроль вертикального распределения озона от приземного слоя до стратосферы с высоким временным и высотным разрешением. Одним из наиболее перспективных средств такого рода является лидар дифференциального поглощения.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЛИДАРА

Лидар (LIDAR англ. Light Identification, Detection and Ranging) - технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующая явления поглощения и рассеяния света в исследуемых средах. Лидар состоит из двух частей, передающей и приёмной. Передающая часть включает в себя источник излучения (лазер), передающую оптику, коллиматор. В приемную входит телескоп, собирающий обратно рассеянное излучение, фильтры, приёмники, и блок обработки полученных данных. Большой потенциал эта технология получила с развитием методов модуляции добротности в лазерных резонаторах. Используя короткие лазерные импульсы, лидары позволяют проводить пространственно разрешенные измерения: интервал между началом лазерного импульса и временем прихода на приемник рассеянного сигнала можно непосредственно связать (через скорость света) с расстоянием до объекта на котором произошло рассеяние.

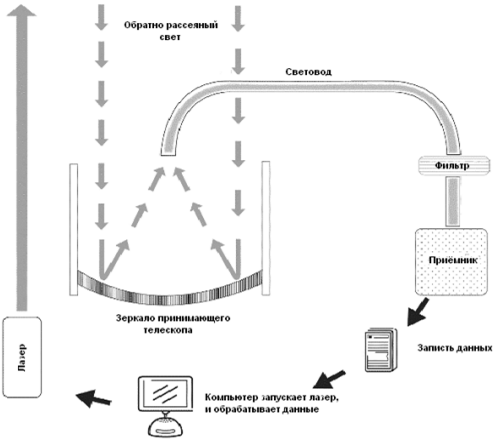


Рис. 2. Принципиальная схема лидара

В настоящее время методы лазерного зондирования могут основываться на таких процессах, как рэлеевское рассеяние, комбинационное рассеяние, рассеяние Ми, резонансное рассеяние, флюоресценция, поглощение, а также дифференциальное поглощение.[2,3] При этом лидары могут производить мониторинг различных параметров атмосферы: измерение плотности, температуры, скорости ветра, исследование аэрозолей, измерение концентраций различных составляющих.

ЛИДАРНЫЙ МОНИТОРИНГ ОЗОНА

Для исследования высотного распределения концентрации озона используется лидар дифференциального поглощения. Принцип работы такого лидара состоит в измерении обратно рассеянного сигнала на двух длинах волн, одна из которых хорошо поглощается в исследуемом газе, а вторая немного отстоит от линии поглощения, и является опорной.

Мощность рассеянного излучения принятого с высоты z описывается лидарным уравнением

$$P = A \frac{S}{z^2} \beta(z) e^{-2\int_0^z \alpha(z)\,dz}$$

A - энергетический параметр лидарной системы, включающий энергию импульса лазерного излучения, коэффициент пропускания приемной системы и эффективность фотоприемника; S- площадь приемного телескопа; $\beta(z), \alpha(z)$ -высотные зависимости коэффициентов обратного рассеяния и экстинкции. Каждый из этих коэффициентов обусловлен вкладами аэрозольной и молекулярной составляющих атмосферы.

Концентрация исследуемого газа (в нашем случае озона), вычисляется по формуле

$$n_{oz} = -\frac{1}{2\Delta\sigma_{oz}} \frac{d}{dz} Ln\left[\frac{P_{on}(z)}{P_{off}(z)}\right]$$

P_{on}, P_{off} - мощность рассеянных сигналов, соответствующих поглощаемой и опорной длинам волн, $\Delta\sigma_{oz}$ - дифференциальное сечение поглощения озона.

Максимальная дальность зондирования определяется статистической ошибкой

$$\varepsilon_{oz} = \frac{1}{2n_{oz}\Delta\sigma_{oz}\Delta z\sqrt{N}} \sqrt{\frac{2(P_{on} + P_{b,on})}{P_{on}^2} + \frac{2(P_{off} + P_{b,off})}{P_{off}^2}}$$

P_b - мощность фоновой засветки, Δz - шаг усреднения по высоте, N - количество циклов сбора данных.

Таким образом, погрешности уменьшаются при увеличении интервала высотного усреднения Δz и времени накопления. Соответственно, говоря о максимальной высоте зондирования,

необходимо уточнять высотное, временное разрешение, а также допустимый уровень погрешностей измерения. Как следует из выражения погрешность измерений тем меньше, чем выше дифференциальное сечение поглощения озона, однако при большом сечении поглощения озона уменьшается дальность зондирования, ввиду затухания лазерного излучения. Вследствие этого, для различных высот зондирования необходимо выбирать различные длины волн.

Стратосферный озон характеризуется относительно медленными вариациями (порядка суток), поэтому для достижения высот ~ 30 км сечение поглощения озона выбирается на уровне [4], что соответствует длине волны излучения ~300 нм. Обеспечение необходимой точности достигается большим временем накопления (несколько часов) и большим интервалом высотного усреднения порядка 1 км. Опорная волна обычно выбирается равной 350 нм.

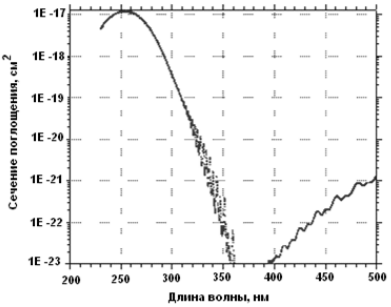


Рис. 3 Сечение поглощения озона

Высокая временная и пространственная изменчивость количества озона в тропосфере повышают требования к высотному и временному разрешению измерений, по сравнению с более высокими атмосферными слоями. Для обеспечения соответствующего временного (~ 10 мин) и пространственного (~50 м) разрешения обычно используются более коротковолновое излучение, (с большим дифференциальным сечением поглощения). С целью минимизации статистической погрешности, для зондирования в диапазоне 0.3 -2.5 км выбираются пары длин волн 268 – 292 нм и 277 – 313 нм, характеризуемые значительным дифференциальным сечением поглощения озона (и соответственно), для больших высот выбирают меньшее сечение поглощения: 292 -313 нм используют для высот до 12 км с интервалом усреднения 250 м.[4,5]

Наиболее распространенные источники УФ излучения на сегодняшний день это эксимерные лазеры и Nd:YAG лазеры с генераторами третьей и четвертой гармоник. Но собственных частот этих лазеров недостаточно для эффективного зондирования озона. Для перестройки используется явление вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) света в среде, под действием излучения большой интенсивности. То есть дополнительные длины волн генерируются при сопряжении этих лазеров с ВКР преобразователями на основе сжатых газов. ВКР преобразователи – трубки заполненные газом, на краях которых установлены линзы (рис. 4).

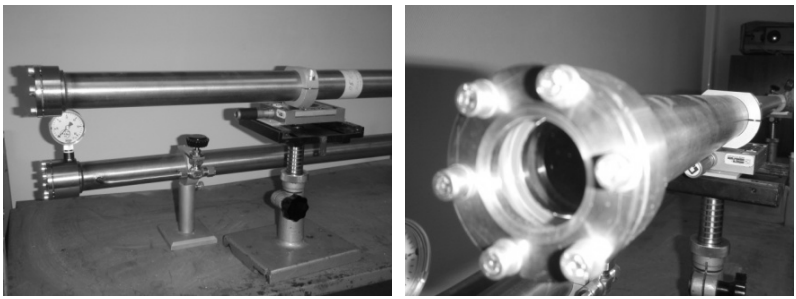


Рис. 4 ВКР преобразователи

В качестве ВКР сред используются, как правило, водород и дейтерий, реже используется метан, так как он диссоциирует под воздействием ультрафиолета. Возможные длины волн стоксовых компонент представлены в таблице 1.

Таблица 1. Генерируемые в результате ВКР длины волн

Лазер	λ, нм	H_2 (4156 $см^{-1}$)			D_2 (2986 $см^{-1}$)			CH_4 (2914 $см^{-1}$)	
		S_1 нм	S_2 нм	S_3 нм	S_1 нм	S_2 нм	S_3 нм	S_1 нм	S_2 нм
XeF	351	410.9	495.6	624.1	392.1	444.1	512.0	391.0	441.3
XeCl	308	353.2	414.0	500.0	339.2	377.4	425.4	338.4	375.4
KrF	248.6	277.2	313.3	360.2	268.5	291.9	319.8	268.0	290.7
Nd:YAG ×3	354.71	416.0	503.0	636.0	396.73	450.04	519.91	395.6	447.15
Nd:YAG ×4	266.03	299.06	341.5	397.5	289.02	316.2	349.2	288.39	314.84

Существует ряд работ, посвященных изучению коэффициента преобразования излучения в таких ВКР-ячейках, в зависимости от давления и наличия различных буферных газов [6,7]. Коэффициент преобразования может достигать 80%.

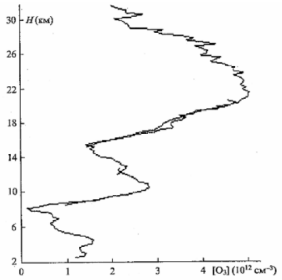


Рис. 5 Пример комбинированного высотного профиля распределения озона, из работы [4]

Таким образом выбирая источник излучения и оптимальные длины волн, полученные в результате ВКР преобразования, можно получить полный профиль высотной концентрации озона, вплоть до высот порядка 40 км.(рис. 5)

В заключение отметим что в настоящее время в институте ведутся работы над тропосферным модулем лидарной станции, на основе 3ей и 4ой гармоник ND:YAG лазера. В качестве ВКР среды планируется использовать смесь водорода и аргона. В будущем предполагается дополнение этой станции эксимерным XeCl лазером для мониторинга стратосферного озона. Таким образом, планируется производить высотный мониторинг озона от приземного слоя до стратосферы, в условиях г. Москва.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ортенберг Ф.С., Трифонов Ю.М. «Космонавтика, астрономия» Издательство «Знание» Москва 9/1990.
2. Межерис Р. «Лазерное дистанционное зондирование» Москва мир 1987.
3. Агишев Р.Р. «Лидарный мониторинг атмосферы» ФИЗМАТЛИТ 2009.
4. Букреев В.С., Вартапетов С.К., Веселовский И.А. «Квантовая электроника» 21 №6 1994 591
5. Ancellet G., Papayannis A. «Journal of atmospheric and oceanic technology» Vol. 6 832
6. Tzortzakis S., Tsaknakis G.Appl. Phys. B 79, 71–75 (2004)
7. Simeonov V., Calpini B. EPFL DGR LPAS Ch 1015

УДК 551.501.81

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ АТМОСФЕРЫ ПО ОЦЕНКАМ РЕФРАКЦИОННОЙ ОШИБКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КООРДИНАТ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.А. Корыстин, С.В. Чернышев

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт - Петербург

geoalex2003@mail.ru

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, ионосфера, атмосферная рефракция, радиолокационная станция, дистанционное зондирование.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при решении ряда задач радиолокации, радионавигации и радиосвязи возникает проблема определения профиля диэлектрической проницаемости атмосферы на трассах зондирования. Очень важное значение при этом приобретает пространственный масштаб получаемых данных о состоянии атмосферы и их оперативность, поскольку атмосфера и в частности ионосфера обладают существенной временной и пространственной изменчивостью. В то же время возможности регулярного сбора информации о состоянии атмосферы ограничены главным образом возможностями сети наземных метеорологических, аэрологических и ионосферных станций, которые собирают информацию с периодичностью 3, 6 и 4 часа, соответственно.

С 70-ых годов в стране сформирована и функционирует система радиолокационных станций (РЛС) дальнего обнаружения, осуществляющих слежение за космическими объектами (КО). Данные РЛС обладают большой дальностью действия (до 6000 км), шириной зоны обзора по азимуту (до 120°), углу места (до 50°), и функционируют в непрерывном режиме [1], что позволяет им оперативно собирать информацию с участков пространства глобального масштаба до высот 2 – 3 тыс. км.

Целью исследования является определение способа восстановления профилей диэлектрической проницаемости атмосферы по результатам радиолокационных измерений координат КО.

Поскольку результаты радиолокационных измерений координат КО подвержены влиянию атмосферы вследствие возникновения эффектов взаимодействия радиоволн со средой (главным образом рефракции), представляется возможным по оцениванию степени проявления этих эффектов (в виде ошибок измерений координат) определить текущее состояние атмосферы. Нетрудно заметить, что значения рефракционных ошибок, полученные теоретически в [2] (порядка 600 - 800 м по дальности и 30 - 40 мин. по углу места для волн метрового диапазона) имеют тот же порядок, что и ТТХ РЛС по точности, представленные в [1] (до 1000 м по дальности и 50 мин. по углу места). Это свидетельствует о том, что ошибки измерений в существующих РЛС дальнего обнаружения обусловлены главным образом рефракцией радиоволн в атмосфере.

В этой связи необходимо определить:

- способ оценивания рефракционных ошибок радиолокационных измерений;
- способ восстановления вертикального профиля диэлектрической проницаемости по известным значениям рефракционных ошибок радиолокационных измерений координат КО.

ОЦЕНИВАНИЕ РЕФРАКЦИОННЫХ ОШИБОК РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КООРДИНАТ КО

Оценивание рефракционных ошибок радиолокационных измерений координат КО может быть произведено путем использования высокоточных средств внешнетраекторных измерений координат (оптоэлектронных, радиотехнических) в процессе юстировки РЛС [3] или путем выбора в качестве целей космических аппаратов с заранее известными параметрами движения. В качестве КО при оценивании рефракционных ошибок наиболее подходящими будут являться навигационные космические аппараты (НКА). Ошибки радионавигационных измерений координат в среднем оказываются гораздо меньше, чем рефракционные ошибки радиолокационных измерений и составляют [4] порядка 40 - 60 метров.

Таким образом, при сопровождении радиолокационной станцией НКА при известных его координатах, можно определить рефракционную ошибку измерения координат НКА радиолокационной станцией. Это возможно в случае, когда при сопровождении НКА радиолокационной станцией, инструментальные ошибки измерений скомпенсированы на этапе первичной обработки информации и таким образом сведены к минимуму. Из сопоставления характерных значений рефракционных ошибок с ТТХ РЛС по точности можно заключить, что эти условия выполняются.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПО ИЗВЕСТНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ РЕФРАКЦИОННЫХ ОШИБОК РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КООРДИНАТ КО

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Таким образом, в качестве исходных данных имеются значения текущих ошибок $\delta_k \equiv \delta(\alpha_k, \theta_k, R_k)$ измерения угла места целей при их сопровождении и измеренные значения α_k, θ_k, R_k координат цели (азимута, угла места и дальности).

Текущие ошибки измерения угла места цели можно связать с параметрами состояния среды следующим выражением:

$$\delta_k = \delta_{cm}(\theta_k, R_k, r_i) + \sum_{i=0}^{N} f_\theta(\theta_k, R_k, r_i)[g(\alpha_k, \theta_k, r_i) - g_{ст}(\theta_k, r_i)](r_{i+1} - r_i) \qquad (1)$$

где δ_k, δ_{cm} – оценки рефракционных ошибок полученные для неизвестного реального профиля и для профиля стандартной атмосферы соответственно;

$g(\alpha_k, \theta_k, r_i)$, $g_{cm}(\theta_k, r_i)$ – значения вертикальной составляющей градиента диэлектрической проницаемости в i – ой точке на расстоянии r_i от РЛС вдоль зондирующего луча в реальной и стандартной атмосфере соответственно;

α_k, θ_k, R_k – измеренные азимут, угол места и дальность космического объекта,

$f_\theta(\theta_k, R_k, r_i)$ – значения функции чувствительности рефракционной ошибки измерения координат КО к вариациям вертикальной составляющей градиента диэлектрической проницаемости атмосферы в i – ых точках на расстояниях r_i от РЛС вдоль зондирующего луча, определяемые эмпирически.

Процесс восстановления вертикального профиля диэлектрической проницаемости предполагает на первом этапе решение уравнения (1) относительно вертикальной составляющей градиента $g(\alpha_k, \theta_k, r_i)$ диэлектрической проницаемости, которое представляет собой решение обратной задачи и требует привлечения априорной информации о текущем состоянии среды. В этой связи возникает проблема подбора наилучшего метода решения данной обратной задачи, которая усложняется еще тем, что число $k \cdot i$ неизвестных параметров $g_{ki} \equiv g(\alpha_k, \theta_k, r_i)$ системы составленной из k уравнений вида (1) существенно больше числа k самих уравнений.

Вторым этапом восстановления вертикального профиля будет являться переход от значений g_{ki}, заданных на сетке в

радиолокационной системе координат к значениям заданным на сетке в географических координатах путем интерполяции.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Ввиду описанных выше проблем в решении обратной задачи первым шагом будет являться уменьшение числа независимых переменных g_{ki} с использованием метода поиска квазирешения [5] путем привлечения априорной информации о значениях искомых переменных из имеющихся зависимостей g от координат φ, λ, z в пространстве. Эти зависимости определяются посредством существующих моделей атмосферы с помощью задания ряда значений параметров, число m которых существенно меньше числа $k \cdot i$ искомых значений g_{ki}. При этом могут использоваться, к примеру, стандартные модели атмосферы, описывающие изменение диэлектрической проницаемости с высотой экспоненциальным законом [2], или эмпирические (климатические) модели ионосферы IRI-2007 [6,7] и нейтральной атмосферы NRLMSISE-00 [8], описывающие глобальное распределение значений параметров атмосферы в зависимости от сезона, времени суток, уровня солнечной и магнитной активности.

Вторым шагом будет являться непосредственно поиск квазирешения в виде m значений параметров моделей атмосферы. Поиск квазирешения может быть осуществлен методом регуляризации, широко применяемым при решении обратных задач.

Функции чувствительности $f_\theta(\theta_k, R_k, r_i)$ в выражении (1) могут быть получены [9] посредством моделирования распространения радиолокационного сигнала сквозь атмосферу путем задания малых вариаций $\delta g(\theta_k, r_i)$ ее параметров на малых (единичных) участках траектории луча относительно некоторых опорных значений $g_{cm}(\theta_k, r_i)$, определяемых стандартной моделью, и оценивания соответствующих изменений рефракционной ошибки $\Delta\delta_k = \delta_k - \delta_{cm}$ в предположении линейной ее зависимости от вариаций δg. Примерный вид функций чувствительности, полученных для метрового диапазона длин волн, имеет вид:

$$f_\theta = \left(0{,}5 - 0{,}002\theta_k - 0{,}000035\theta_k^2\right)\left(1 - \frac{r}{R_k}\right) \qquad (2)$$

Преобразование полученных в результате решения уравнения (1) наклонных профилей $g(\alpha_k, \theta_k, r_i)$ в вертикальные возможно путем интерполяции в узлы регулярной сетки географических координат $(\varphi_i, \lambda_j, z_k)$. Самый простой способ – линейная интерполяция. В свою очередь при известных вертикальных профилях $g(\varphi_i, \lambda_j, z_k)$ можно получить выражение для вертикального профиля диэлектрической

проницаемости ε при кусочно-линейной его аппроксимации (возможна аппроксимация сплайном):

$$\varepsilon(z_i) = \varepsilon_0 + \sum_{j=0}^{i} g(z_j)\Delta z_j \qquad (3)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье предложен оригинальный способ диагностики состояния атмосферы путем восстановления профилей диэлектрической проницаемости по результатам оценивания рефракционных ошибок измерения координат космических объектов с помощью радиолокационных станций дальнего обнаружения. Решаемая задача при реализации данного способа диагностики состояния атмосферы во многом схожа с задачей спутниковой томографии.

Дальнейшие исследования предполагается направить на поиск оптимального метода решения обратной задачи в описанной постановке. В первом приближении таковыми могут служить проекционный метод нахождения квазирешения с использованием эмпирических моделей атмосферы и метод регуляризации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бордо Г.В., Босов В.В. Системы вооружения Космических войск и основы их боевого применения. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 327 с.
2. Теоретические основы радиолокации./Под ред. Я.Д. Ширмана.– М.: Советское радио, 1970. – 560 с.
3. Леонов А.И., Леонов С.А., Нагуленко Ф.В. и др. Испытания РЛС (оценка характеристик)/Под ред. А.И. Леонова. – М.: Радиоисвязь, 1990. – 208 с.
4. Hofmann-Wellenhof B., Moritz H. Physical Geodesy. – Springer Geosciences, 2006.
5. Кирьянов Д.В., Кирьянова Е.Н. Вычислительная физика. – М.: Полибук Мультимедиа, 2006. – 352 с.
6. Bilitza, Dieter K. International Reference Ionosphere 1990. – National Space Science Data Center /World Data Center A for Rockets and Satellites, Lanham: Science Applications Research, 1990.
7. Bilitza D., Reinisch B.W. International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters.//Advances in Space Research. 2008. No. 42. P. 599–609.
8. Picone J.M., Hedin A.E., Drob D.P. and Aikin A.C. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisions and scientific issues.//Jornal of Geophysical Research. 2002. No.107 (A12). P. 1468.
9. Томович Р., Вукобратович М. Общая теория чувствительности. Пер. с сербск. и с англ./Под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Советское радио, 1972. – 240 с.

УДК 551.590.2

ВЫБОР ПОДХОДА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА МАТЕРИАЛЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

И.А. Скороходов

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

i.skorohodov@gmail.com

Ключевые слова: факторы космической среды, комплексное воздействие.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все более актуальной становится проблема учета влияния окружающей среды на функционирование различных технических систем. Наиболее остро она стоит для космических систем, функционирующих в условиях воздействия гелиогеофизических факторов (ГФФ) околоземного космического пространства, особенно в максимумах солнечной активности.

На космический аппарат (КА) воздействует целый комплекс факторов космической среды, в том числе глубокий вакуум, собственная атмосфера, корпускулярные и электромагнитные излучения разных видов [1, 2, 3, 4]. Как показали исследования, это приводит к сбоям и отказам бортовой аппаратуры, потере связи с КА и даже к их сходу с орбиты [2, 5, 6, 7].

К настоящему времени для прогнозирования поведения бортовой аппаратуры (БА) КА при воздействии ГФФ разработано большое количество моделей [1]. Однако, такие модели, в основном, описывают влияние отдельных гелиогеофизических факторов околоземного космического пространства на материалы БА, чего в целом ряде ситуаций недостаточно для построения прогноза её состояния с необходимой точностью.

Учитывая возрастающие требования к эффективности функционирования космических систем, а также негативное воздействие на них внешней среды при приближении максимума 24 цикла солнечной активности, актуальным является создание модели, описывающей комплексное воздействия ГФФ на КА.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА МАТЕРИАЛЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В различных исследованиях определены следующие основные факторы среды, воздействующие на КА [1, 2, 3, 4]:

– космический вакуум;
– собственная внешняя атмосфера космического аппарата;
– солнечное электромагнитное излучение;
– потоки ионизированных частиц космических лучей и радиационных поясов Земли.

Для определения бортовых систем и элементов КА, наиболее подверженных воздействию ГФФ, была проанализирована база данных [8], состоящая более чем из 5000 аномалий и отказов различных КА за период с 1967 по 1994 год.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для первичной обработки данных был выбран метод корреляционного анализа, т.к. он предполагает изучение зависимостей различных величин с одновременной количественной оценкой степени неслучайности их совместного изменения [9]. Изменение случайной величины Y, соответствующее изменению случайной величины X, разбивается на две составляющие – стохастическую, связанную с неслучайной зависимостью Y и X, и случайную (или статистическую), связанную со случайным характером поведения самих Y и X. В нашем случае X – значения индексов геомагнитной активности (Ap, Kp), У – среднее число отказов в день.

С целью выявления зависимости отказов БА КА от геомагнитной активности был проведён корреляционный анализ среднего числа отказов и индексов геомагнитной активности с использованием средств Mathcad. Результаты анализа представлены в таблице 1 и на рисунках 1-4.

Таблица 1.

Неисправность	**Индекс геомагнитной**	**Коэффициент корреляции**
Сбой телеметрии	Kp	0,93
Глубокий пробой диэлектрика	Ap	0,98
Поверхностный заряд	Kp	0,43
Электростатический заряд	Ap	0,47

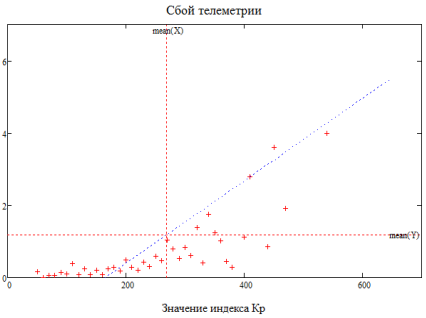


Рис. 1. Зависимость среднего числа отказов в системе телеметрии от значения индекса Кр

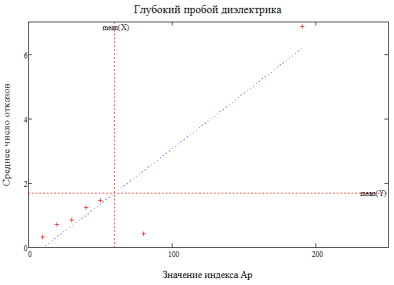


Рис. 2. Зависимость среднего числа отказов при пробоях диэлектрика от значения индекса Ар

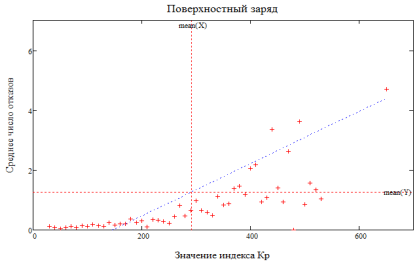


Рис. 3. Зависимость среднего числа отказов, связанных с поверхностным зарядом, от значения индекса Кр

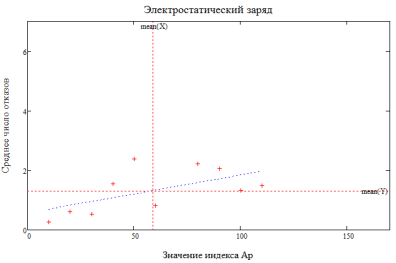


Рис. 4. Зависимость среднего числа отказов, связанных с электростатических зарядом, от значения индекса Ар

Анализ полученных результатов показал, что наиболее чувствительными элементами БА КА являются система телеметрии, а также системы, имеющие в своем составе объемны диэлектрические конструкции, например, кабели электропитания в системе энергоснабжения.

Основываясь на проведенном анализе можно сделать вывод, что для прогнозирования поведения КА под влиянием ГФФ целесообразно в первую очередь использовать модели воздействия среды на систему телеметрии и систему энергоснабжения.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГФФ НА МАТЕРИАЛЫ И БОРТОВУЮ АППАРАТУРУ КА

Использование моделей влияния отдельных факторов космической среды на КА является традиционным в исследованиях по данной проблеме и не в полной мере отвечает интересам оперативного

геофизического обеспечения эксплуатации космических систем. Разработка модели комплексного воздействия ГФФ в целом на КА позволит в совокупности оценивать подверженность космического аппарата к воздействию окружающей среды.

Одним из подходов является создание групп моделей, в которых выходные данные одной модели будут являться входными данными другой. Данный подход, в частности, апробирован при решении задач экологического прогнозирования [12].

Второй подход применяется при оценивании устойчивости динамических систем и основывается на создании избыточного количества выборок и моделей для получения более точной оценки [13].

Для разработки модели комплексного воздействия ГФФ на КА важно, чтобы самостоятельные модели воздействия были связаны друг с другом, поэтому первый вариант является наиболее приемлемым. К примеру, в результате математического моделирования электризации КА определяется значение потенциала на каждом элементе поверхности аппарата и в каждой ячейке трехмерной сетки. Детальная картина электрического поля вблизи КА может быть использована для модельного описания процессов радиационной электризации и пробоев в диэлектриках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ экспериментальных данных [8], выполненный в данной работе, показал:

при повышении индексов геомагнитной активности, количество сбоев и отказов БА КА возрастает;

полученные зависимости близки к линейным, что дает основание рассчитывать на достаточно точный прогноз поведения БА КА в условиях высокой геомагнитной активности;

наиболее уязвимой частью КА являются система телеметрии и система энергоснабжения.

Разработанную в ходе дальнейших исследований модель комплексного воздействия ГФФ на материалы и бортовую аппаратуру КА планируется применить к существующей системе мониторинга гелиогеофизической обстановки. Это позволит с большей вероятностью предсказывать поведение КА, давать рекомендации по включению или выключению бортовой аппаратуры во время повышения солнечной активности и в целом повысить эффективность работы космических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модель космоса: Научно-информационное издание: В 2 т. /Под ред. М.И. Панасюка, Л.С. Новикова. – Т.2 : Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. – М.: КДУ, 2007. – 1144 с.
2. Акишин А.И., Новиков Л.С. «Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов» - М.: Знание, 1983. – 64с.
3. Гальперин Ю.И., Дмитриев А.В., Зелёный Л.М., Панасюк М.И. «Влияние космической погоды на безопасность космических полётов».
4. Акишин А.И., Новиков Л.С. «Электризация космических аппаратов» - М.: Знание, 1985. – 64с.
5. Гобчанский О., Кузнецов Н. «Устойчивость IBM PC совместимых контроллеров к радиационным сбоям на орбитах космических аппаратов», Разработки космонавтики, СТА 3/2005.
6. Еленев В.Д. «Моделирование процессов функционирования космических аппаратов с учетом накапливающихся отказов элементов бортовых систем». Самарский государственный аэрокосмический университет, 2004 г.
7. Ferguson D.C. and G.B. Hillard «Low Earth Orbit Spacecraft Charging Design Guidelines». Glenn Research Center, Cleveland, Ohio, 2003 г.
8. ftp.ngdc.noaa.gov /STP/ANOMALIES\.
9. Кобзарь А.И. «Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников». – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
10. Кузнецов Н.В., Нымmик Р.А., Радиационные одиночные сбои микроэлектроники космических аппаратов, обусловленные событиями солнечных космических лучей - Космические исследования. 1997. Т. 35, Вып. 5. С. 465-479.
11. Акишин А.И., Новиков Л.С. «Космическое материаловедение». – М.: НИИЯФ МГУ.
12. Пененко В.В, Цветова Е.А. «Модели и методы для оценок экологических взаимодействий в системе город-регион». Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, 2005 г.
13. Синеглазов В.М., Сильвестров А.Н., Спинул Л.Ю., Зименков Д.К. «Комплексирование методов и моделей для оценивания запаса устойчивости». Институт электроники и систем управления НАУ, Украина. Журнал «Электроника систем управления», 2010, №1(23).

УДК 551.590.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

П.В. Шатов

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

p.v.shatov@mail.ru

ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В наше время невозможно представить жизнь человека без космических технологий. GPS-навигаторы, спутниковые телефоны и многое другое – всё это обязано своим существованием многочисленным космическим аппаратам (КА). Их назначение различно: это спутники связи, космические станции, орбитальные телескопы, спутники обеспечения систем GPS и ГЛОНАСС, метеорологические спутники и многие другие.

Космическая среда, в которой работают спутники, далеко не безопасна. На каждый аппарат оказывают негативное влияние различные факторы, способные вызывать сбои и неисправности на борту спутника, а в некоторых случаях даже приводящие к потере аппарата. В целях обеспечения безопасности космических полётов необходимо учитывать это воздействие. В качестве одного из наиболее трагических примеров аварий КА по вине геофизических факторов можно привести гибель американской орбитальной станции «Скайлэб». В 1972 году мощная солнечная вспышка вызвала нагрев верхних слоёв атмосферы, увеличив тем самым её плотность. Вследствие возросшей плотности среды станция начала терять высоту слишком быстро, и на борту не хватило топлива для возврата на прежнюю орбиту. Таким образом, станция ценой в миллионы долларов была потеряна [1]. Также радиационное излучение ведёт со временем к уменьшению КПД солнечных батарей и ухудшению оптических характеристик различных телескопов, находящихся на орбите Земли. Частицы высоких энергий вызывают сбои в бортовой электронике [2].

В свою очередь, каждый из геофизических факторов, воздействующих на КА, зависит от солнечной активности.

В 2013 году ожидается максимум очередного, 24-го цикла солнечной активности. Вследствие высокой активности Солнца возрастёт эффект разрушительного воздействия гелиогеофизических

факторов на КА, и поэтому рассмотрение данной проблемы сейчас особенно актуально.

К настоящему времени накоплен значительный теоретический и статистический материал о воздействии геофизических факторов на КА. Доля отказов по причине ГФФ может достигать 60% от общего числа неисправностей на КА. В то же время, методы прогноза аномалий на борту КА вследствие воздействия ГФФ проработаны недостаточно.

При наличии модели воздействия различных факторов на КА, и возможности их прогнозирования, станет возможным предсказывать вероятность возникновения тех или иных сбоев на ИСЗ и принимать меры, препятствующие их возникновению.

В дальнейшем планируется создание программного комплекса, в задачи которого будет входить анализ данных мониторинга ГФФ и выдача рекомендаций по эксплуатации КА в условиях воздействия космической погоды на основании моделирования различных геофизических процессов и их взаимодействия с материалами и системами КА.

ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ НАИБОЛЬШЕЕ ВЛИЯНИЕНА СИСТЕМЫ КА И ВЫЗЫВАЕМЫЕ ИМИ ПРОБЛЕМЫ

Основными гелиогеофизическими факторами и явлениями, воздействующими на космический аппарат в околоземном космическом пространстве, являются [1]:

- галактические космические лучи;
- солнечные космические лучи;
- радиационные пояса Земли;
- ионизирующее электромагнитное излучение;
- геомагнитные бури и суббури.

Можно выделить основные последствия воздействия ГФФ на ИСЗ:

- деградация материалов КА и в первую очередь солнечных батарей;
- электризация поверхности ИСЗ;
- возникновение объёмного заряда внутри ИСЗ;
- сбои в электронике бортовых систем;
- нарушение связи с ИСЗ.

Чтобы понять механизмы воздействия внешней среды на ИСЗ необходимо отдельно рассмотреть воздействие каждого фактора на системы КА.

ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

Галактические космические лучи (ГКЛ) состоят из ядер различных химических элементов с кинетической энергией E более нескольких десятков МэВ/нуклон, а также электронов и позитронов с E>10 МэВ. Эти частицы приходят в межпланетное пространство из межзвёздной среды. Источником этих частиц являются сверхновые звезды нашей Галактики. ГКЛ равномерно распределены в пространстве и вследствие своих высоких энергий являются всепроникающими, однако плотность потока довольно мала и составляет примерно 1 $см^{-2} \cdot с^{-1}$.

При прохождении высокоэнергичных частиц ГКЛ через материалы космического аппарата формируются электронно-фотонные и электронно-ядерные ливни высокоэнергичных частиц. Электронно-фотонные ливни от первичной частицы с энергией более 10^6 ГэВ состоят из более миллиона частиц [3].

Вследствие своих больших энергий частицы ГКЛ способны проникать внутрь электронных устройств и печатных плат, а также модулей памяти бортовой электроники. Постепенно тормозясь и теряя энергию, частица ГКЛ ионизирует окружающее пространство, тем самым провоцируя случайные сбои в аппаратуре [2, 4]. Также радиационное воздействие ГКЛ способствует постепенной деградации материалов солнечных батарей КА, тем самым снижая полезную вырабатываемую мощность [5]. Радиационное воздействие также негативно влияет на здоровье людей, находящихся на орбитальных станциях.

СОЛНЕЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

Солнечными космическими лучами (СКЛ) называются энергичные заряженные частицы — электроны, протоны и ядра, — инжектированные Солнцем в межпланетное пространство. Энергия СКЛ составляет от нескольких кэВ до нескольких ГэВ. В нижней части этого диапазона СКЛ граничат с протонами высокоскоростных потоков солнечного ветра. Частицы СКЛ появляются вследствие солнечных вспышек [6]. Поток СКЛ во время солнечных вспышек может достигать значений порядка 10^6 $см^{-2} \cdot с^{-1}$. СКЛ провоцируют те же негативные эффекты на борту КА, что и ГКЛ, однако в большей степени из-за своей более высокой концентрации. В то же время частицы СКЛ в среднем обладают меньшей энергией, чем ГКЛ, и не могут вызывать ионизацию и пробои диэлектриков в глубине материала.

Так как СКЛ возникают вследствие вспышек на Солнце, их практически невозможно предсказать до тех пор, пока не была

зафиксирована вспышка. На данный момент не существует рабочих моделей надежного предсказания солнечных событий, поэтому пока воздействие СКЛ на КА можно учитывать лишь статистически на достаточно долгих временных интервалах, зная, что частота солнечных вспышек возрастает при приближении к максимуму цикла солнечной активности.

РАДИАЦИОННЫЕ ПОЯСА ЗЕМЛИ

Наша планета является постоянным магнитом, наклонённым под углом в 11.5 градусов к оси вращения. Заряженные частицы космических лучей удерживаются магнитным полем, совершая под действием силы Лоренца сложное движение, которое можно представить как колебательное движение по спиральной траектории вдоль силовой линии магнитного поля из Северного полушария в Южное и обратно с одновременным более медленным перемещением (долготным дрейфом) вокруг Земли (рис. 1) [7].

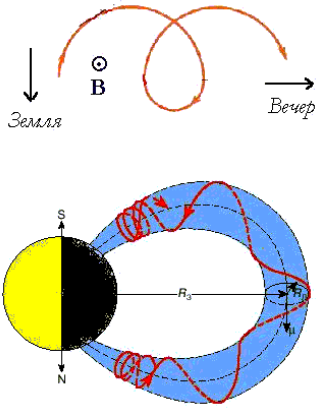


Рис. 1. Траектория движения частиц в радиационных поясах

Радиационные пояса разделяют на внутренний – протонный с энергией частиц до сотен МэВ и внешний – электронный с энергией до десятков МэВ.

Частицы радиационных поясов обладают в среднем меньшей энергией, чем ГКЛ и СКЛ, однако вследствие своей большой концентрации способны вызывать электризацию элементов обшивки КА. Разность потенциалов может достигать нескольких десятков кэВ. В момент электрического разряда возможно нарушение или искажение связи с КА [4].

Поток электронов высоких энергий способен проникать сквозь обшивку КА, создавая так называемый «объёмный заряд». При долгом нахождении аппарата в потоке таких частиц возможны пробои диэлектриков и нарушение работы электроники [1].

Также ионизирующее воздействие РПЗ негативно влияет на полупроводниковые материалы солнечных батарей [5].

ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Ионизирующее излучение солнца представляет собой непрерывный поток рентгеновских лучей и гамма-излучения. Во время солнечных вспышек потоки ИЭИ возрастают на несколько порядков, что приводит к сильному разогреву и ионизации верхней атмосферы, тем самым увеличивая её плотность на фиксированных высотах. Это представляет большую опасность для низковысотных ИСЗ, так как сильно возрастает сопротивление среды.

Сильная ионизация ионосферы приводит к изменению условий прохождения и отражения от неё радиосигналов, и возможна потеря связи [8]. В момент маневрирования потеря связи может привести к самым тяжёлым последствиям для выполнения задач КА.

ГЕОМАГНИТНЫЕ БУРИ И СУББУРИ

Геомагнитная буря — возмущение геомагнитного поля длительностью от нескольких часов до нескольких суток, вызванное поступлением в окрестности Земли возмущённых потоков солнечного ветра и их взаимодействием с магнитосферой Земли. Во время магнитных бурь происходит глобальная перестройка геомагнитного поля Земли, что делает более благоприятными условия проникновения частиц ГКЛ и СКЛ в магнитосферу. С ростом потоков частиц усиливаются и все негативные эффекты, с ними связанные. При сильных магнитных бурях происходит сжатие магнитосферы, и спутники, которые находятся на высоких орбитах, например геостационарных, могут оказаться вне магнитосферы [8].

Также изменение геомагнитного поля вызывает сбои в системах телеметрии и навигации КА.

ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА СБОИ КА

Опасность описанных выше гелиогеофизических факторов составляет не столько само их существование, сколько их непостоянность во времени.

Основными событиями космической погоды, ответственными за возникновение и изменение воздействующих факторов, являются:

- солнечные вспышки;
- коротирующая область взаимодействия;
- выброс корональных масс;
- 11-летний цикл солнечной активности;

СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ

Солнечными вспышками называют резкое и непродолжительное (до нескольких минут) выделение электромагнитного излучения в атмосфере солнца. Во время сильных солнечных вспышек поток жёсткого рентгеновского излучения может возрасти более чем на 3 порядка. Время распространения ИЭИ до Земли составляет 8 минут.

Во время мощных солнечных вспышек также происходит ускорение заряженных частиц до очень высоких энергий – генерация СКЛ. Однако чтобы СКЛ от вспышки достигли нашей планеты, необходимо определённое относительное расположение Земли и Солнца. Время прихода СКЛ от вспышки составляет в среднем десятки минут [1].

Таким образом, уже через 8 минут после возникновения солнечной вспышки возможны потери связи с КА. В случае достаточной мощности вспышки и её направленностью в сторону Земли возможны сбои в электронике и нарушение ориентации КА вследствие СКЛ уже через несколько десятков минут.

КОРОТИРУЮЩАЯ ОБЛАСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Когда быстрый поток солнечного ветра из корональной дыры догоняет предшествующий ему низкоскоростной поток, это приводит к сжатию плазмы вдоль линии взаимодействия токов, что, в свою очередь, ведет к возрастанию плотности и температуры плазмы медленного потока за счет кинетической энергии быстрого. Область, где это явление имеет место, называется коротационной областью взаимодействия (КОВ) [10]. КОВ представляет собой квазистационарную структуру и вращается (коротирует) вместе с Солнцем с периодом примерно 27 дней. Когда КОВ пересекает Землю, происходят так называемые рекуррентные (повторяющиеся) магнитные бури. Эти бури не отличаются большой силой (Dst-вариация не превышает 200 нТл), однако фаза восстановления оказывается затянутой и сопровождается мощной суббуревой активностью [1]. Также во время фазы восстановления происходит интенсивное «обдувание» Земли быстрым солнечным ветром,

состоящим из частиц высоких энергий, что провоцирует сбои в бортовой электронике вызванные объёмным зарядом.

Таким образом, при прохождении КОВ через Землю вероятны различные сбои бортовой электроники, вызванные проникновением частиц высоких энергий через обшивку КА, вследствие рекуррентных магнитных бурь вероятны электризация обшивки КА частицами РПЗ, а также потеря связи.

ВЫБРОС КОРОНАЛЬНЫХ МАСС

Корональный выброс массы — выброс вещества из солнечной короны. В отличие от солнечных вспышек, во время которых магнитная энергия, накопленная в активных областях на Солнце, реализуется в основном в виде электромагнитного излучения, во время корональных выбросов массы эта энергия расходуется на ускорение огромных масс вещества. Солнечные вспышки и корональные выбросы являются независимыми процессами. Выброс включает в себя плазму, состоящую в основном из электронов и протонов наряду с небольшим количеством более тяжёлых элементов — гелия, кислорода, железа и других. При столкновении ударной волны с магнитосферой происходит её сжатие, и как следствие, увеличение напряжённости геомагнитного поля (на несколько десятков нТл). Во время сжатия магнитосферы КА, орбиты которых протекают во внешней магнитосфере, могут оказаться в межпланетном пространстве и подвергнуться непосредственному воздействию горячей плазмы. Тороидальное магнитное поле, которое несут корональные массы, способно вызвать сильнейшую магнитную бурю (до нескольких сотен нТл) [1].

Корональный выброс масс является одним из наиболее значимых событий космической погоды, провоцирующим практически все опасные гелиогеофизические факторы. Под воздействием горячей плазмы солнца в сочетании с сильнейшими магнитными бурями возрастает вероятность возникновения любых неисправностей.

11-ЛЕТНИЙ СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ

Солнечная активность подвержена 11-летней цикличности. В наше время принято описывать активность Солнца числом Вольфа, являющимся суммой числа пятен и удесятеренного числа групп пятен, наблюдаемых на видимом диске Солнца.

Частота проявления различных событий космической погоды хорошо коррелирует с числом Вольфа. Корональные выбросы массы и солнечные вспышки наиболее вероятны, когда Солнце находится в максимуме своей активности. Сильные магнитные бури также

случаются в окрестностях пика активности. Однако геомагнитные суббури чаще всего встречаются в фазе роста или спада солнечной активности, когда в межпланетной среде формируются устойчивые КОВ.

ГКЛ подвержены флуктуациям в течение 11 цикла солнечной активности [12].

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для экспериментальной проверки возможной модели воздействия ГФФ на КА была рассмотрена база данных, состоящая из более чем 5000 аномалий и отказов спутников за период с 1967 по 1994 годы.

С целью выявления закономерностей был проведён корреляционный анализ среднего числа отказов в день в зависимости от различных индексов геомагнитной активности. Результаты анализа представлены в таблице.

Неисправность	Индекс геомагнитной активности	Коэффициент корреляции
Сбой телеметрии	Ap	0,92
Сбой телеметрии	Kp	0,93
Глубокий пробой диэлектрика	Ap	0,98
Ошибка выполнения программ	Dst	0,90

Высокие коэффициенты корреляции подтверждают влияние геофизических факторов на космические аппараты, находящиеся в околоземном космическом пространстве.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Учитывая вышесказанное можно сделать следующие выводы:

1. Самой уязвимой частью КА для случайных отказов является бортовая электроника. Частицы высоких энергий ГКЛ, СКЛ и РПЗ, проникая сквозь обшивку КА, ионизируют активные области микросхем и провоцируют сбои. Нынешняя тенденция к увеличению плотности элементов микросхем на единицу объёма и применение электронных систем с большой степенью интеграции

делает электронику КА гораздо более уязвимой для вредного воздействия.

2. Также вероятна электризация обшивки КА и объёмный заряд. Они вызывают разряды, способные привести к различным сбоям вплоть до потери спутника.
3. Солнечная активность оказывает большое влияние на все события космической погоды и гелиогеофизические факторы. При приближении к максимуму цикла возрастает частота солнечных вспышек, выбросов корональных масс, корональных дыр и геомагнитных бурь, что влечёт за собой увеличение потоков высокоэнергетичных частиц и мощности ИЭИ, тем самым многократно усиливая их пагубное воздействие на системы КА.
4. Космическая погода и геомагнитная обстановка оказывают огромное влияние на все процессы, происходящие в околоземном космическом пространстве и воздействуют на все приборы, расположенные в космосе. Для обеспечения наибольшей безопасности космических полётов необходим постоянный мониторинг событий космической погоды и индексов геомагнитной активности. Эти факторы нужно учитывать при принятии решений о включении или выключении бортового оборудования, так как в эти моменты наиболее вероятен сбой, а потеря связи в момент корректировки или смены орбиты может привести даже к потере спутника.
5. При определении расчётного срока службы аппаратуры и материалов КА, особенно полупроводниковых материалов солнечных батарей, важно учитывать 11-летний цикл солнечной активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин Ю.И., Дмитриев А.В., Зелёный Л.М., М.И. Панасюк М.И. «Влияние космической погоды на безопасность космических полётов», www.kosmofizika.ru.
2. Гобчанский О., Кузнецов Н. «Устойчивость IBMPC совместимых контроллеров к радиационным сбоям на орбитах космических аппаратов», Разаработки космонавтики, СТА 3/2005.
3. Безродных И.П., Семёнов В.Т. «Ливни релятивистских частиц внутри космических аппаратов типа «Метеор», Вопросы электромеханики Т. 113. 2009.
4. Акишин А.И., Новиков Л.С. «Космическое материаловедение», НИИЯФ МГУ.

5. Акишин А.И., Новиков Л.С. «Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов» - М.: Знание, 1983. – 64с.
6. Кузнецов С.Н., Мягкова И.Н., Юшков Б.Ю., Муравьева Е.А., К. Кудела «Влияние экстремально высокой солнечной активности в октябре–ноябре 2003 г. на околоземное космическое пространство – космическая погода», Солнечно-земная физика. Вып. 8 (2005) с. 85–88.
7. Логачёв Ю.И. «Радиационные пояса земли», Большая советская энциклопедия.
8. Авдюшин С.И., Данилов А.Д. "Рассказ о космической погоде", Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 1993 г.
9. Ермолаев Ю.И., Ермолаев М.Ю. «Солнечные и межпланетные источники геомагнитных бурь: аспекты космической погоды», Геофизические процессы и биосфера , 2009, Т. 8, № 1, с. 5-35.
10. Мягкова И.Н. «Геоэффективность солнечной активности и космическая погода», НИИЯФ МГУ, электронный учебник.
11. Морозова Е.И., Безродных И.П., Семёнов В.Т. «Радиационные факторы риска для космических аппаратов», Вопросы электромеханики Т. 112. 2009.
12. Григорьев А.В., Стародубцев С.А., Усоскин И.Г., Мурсула К. «Флуктуации космических лучей по измерениям на космических аппаратах в цикле солнечной активности», ВЕСТНИК ЯГУ, 2006, том 3, № 1.

МЕТЕОРОЛОГИИЯ
И
АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.511.61:576.1

О ТРЕХ-СТАДИЙНОМ ОПИСАНИИ ПРОЦЕССА ТУРБУЛЕНТНОЙ ДИФФУЗИИ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГО АЭРОЗОЛЯ В ОБЛАЧНОЙ СРЕДЕ

А.М. Абшаев, Я.А. Садыхов, А.М. Малкарова

Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик

abshaev@yahoo.com

Ключевые слова: Облако, турбулентная диффузия, кристаллизующий реагент, град

ВВЕДЕНИЕ

Российская автоматизированная технология противоградовой защиты [1] основана на концепции ускорения осадкообразования, согласно которой массированный засев зон будущего градообразования мощных конвективных облаков мелкодисперсным аэрозолем кристаллизующих реагентов, приводит к более раннему образованию осадков и вымыванию облачной воды в областях будущего формирования града. Успешность воздействия на грозоградовые процессы требует знания закономерностей распространения вносимых реагентов во времени и пространстве.

Будем описывать процесс распространения мелкодисперсного аэрозоля в мощном конвективном облаке посредством известного модельного уравнения:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + u\frac{\partial n}{\partial x} + w\frac{\partial n}{\partial z} - \mu\frac{\partial^2 n}{\partial x^2} - \mu\frac{\partial^2 n}{\partial y^2} - \frac{\partial}{\partial z}\left(\nu\frac{\partial n}{\partial z}\right) = 0, \qquad (1)$$

где $n = n\,(x, y, z, t)$ – объемная концентрация аэрозоля; u и w – горизонтальная и вертикальная компоненты вектора скорости воздушных потоков; μ и ν – горизонтальный и вертикальный коэффициенты турбулентной диффузии.

Одна из существенных трудностей моделирования распространения аэрозоля в облачной среде заключается в выборе функционального вида коэффициентов турбулентной диффузии, поскольку их нельзя однозначно связать с характеристиками облачной турбулентности. При этом должны учитываться масштабы явления, так как влияние вихрей различных масштабов не эквивалентно на

разных стадиях диффузионного процесса. При малых временах распространение аэрозоля определяется только вихрями, масштаб которых порядка расстояния между ними и меньше. Со временем вклад высокочастотных пульсаций уменьшается, и в процесс перемешивания включаются вихри более крупных масштабов.

Рассмотрим инерционный интервал спектра турбулентности, который включает в себя мелкомасштабные пульсации с размерами $l_0' \le l \le L_0$, где l_0' и L_0 – внутренний и внешний масштабы турбулентности. В качестве внутреннего масштаба принимается микромасштаб Колмогорова $l_0' = \nu_0^{3/4}\varepsilon^{-1/4}$ (ν_0 – кинематическая вязкость среды, ε – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности). Для конвективных облаков $l_0' \approx 10^{-3}$ м, $L_0 \sim 10^3$ м.

Рассеяние пассивного аэрозоля характеризуется относительной диффузией:

$$K(t) = \frac{1}{2}\frac{d\sigma^2(t)}{dt}, \tag{2}$$

где $\sigma^2(t)$ – дисперсия координат диффундирующих частиц, определяемая как:

$$\sigma^2(t) = 2\overline{u'}\int_0^t dt'\int_0^{t'} R(s)ds, \tag{3}$$

где u' – пульсационная составляющая скорости частицы; $R(s)$ – лагранжев коэффициент автокорреляции, учитывающий связь между скоростью частицы в соответствующем направлении в момент времени t и скоростью той же частицы в момент времени $t + s$.

Отсюда видно, что дисперсия σ^2 и коэффициент диффузии $K(t)$, по разному зависят от времени диффузии t на различных временных интервалах. В частности, когда время диффузии t очень мало или очень велико по сравнению с лагранжевым интегральным временным масштабом, определяемым выражением: $\tau_L = \int_0^\infty R(s)ds$.

ДИФФУЗИЯ ПО ГОРИЗОНТАЛИ

Рассмотрим диффузионный процесс расширения аэрозольного облака на основе трех стадий. Первая стадия описывает диффузию аэрозольного облака при малых временах диффузии, когда нельзя пренебречь начальным размером облака и начальным распределением аэрозольных частиц в облаке. Характер зависимости диффузионного параметра σ_x^2 от времени на этой стадии диффузионного процесса имеет вид [2, 3]:

$$\sigma_x^2 = \delta_0^2 + \widetilde{C}\ (\varepsilon\,\delta_0)^{2/3} t^2, \tag{5}$$

где δ_0^2 – средний квадрат начальных расстояний между аэрозольными частицами; $\widetilde{C} = C/4$ (C – константа из «закона 2/3» Колмогорова).

Тогда коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии равен:

$$\mu(t) = \widetilde{C}(\varepsilon\,\delta_0)^{2/3} t\,. \tag{6}$$

При промежуточных временах диффузии, зависимость σ_x^2 имеет вид [2, 3]:

$$\sigma_x^2 = \sigma_{x1}^2 + C'\,\varepsilon\left(t^3 - t_{x1}^3\right), \tag{7}$$

где σ_{x1}^2 – значение параметра σ_x^2 к началу второй стадии; t_{x1} – время перехода от первой стадии диффузионного процесса ко второй; $C' \approx 0{,}3$ – константа [2]. Коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии для второй стадии будет определяться как

$$\mu(t) = \frac{3}{2} C'\varepsilon\, t^2\,. \tag{8}$$

Время t_{x1} перехода от первой стадии ко второй определяется как [2]:

$$t_{x1} = \delta_0^{2/3}\varepsilon^{-1/3}. \tag{9}$$

На третьей стадии диффузии, зависимость σ^2 от времени определяется как [2, 3]:

$$\sigma_x^2 = \sigma_{x2}^2 + 2\sigma_U l_L\left(t - t_{x2}\right), \tag{10}$$

где t_{x2} – время перехода от второй стадии диффузионного процесса к третей; σ_{x2}^2 – значение параметра σ_x^2 к началу третьей стадии, σ_U^2 – дисперсия пульсации продольной компоненты u поля скорости; l_L – лагранжев интегральный масштаб длины.

На этой стадии коэффициент турбулентной диффузии не зависит от времени:

$$\mu = \sigma_U^2 \tau_L = \sigma_U l_L . \tag{11}$$

Время t_{x2} перехода от второй стадии диффузии к третьей определяется как:

$$t_{x2} = \sqrt{\frac{2}{3C'C''}} \cdot \frac{\sigma_U^2}{\varepsilon}, \tag{12}$$

где C'' – константа, имеющая порядок единицы ($C'' \approx 1$).

ДИФФУЗИЯ ПО ВЕРТИКАЛИ

Основными факторами, определяющими характер вертикального диффузионного процесса в облачной среде, являются вертикальные градиенты скорости ветра и температуры. В облачных слоях с большими градиентами скорости ветра и температуры градиентное число Ричардсона Ri становится меньше своего критического значения и тем самым создаются благоприятные условия для интенсификации турбулентного режима.

В кучевых облаках воздух насыщен, и температура воздуха меняется по влажноадиабатическому закону. Уравнение состояния в этом случае записывается в виде:

$$p = R \rho T_B , \tag{13}$$

где p – давление, R – газовая постоянная, T_B – виртуальная температура, равная:

$$T_B = T(1 + 0{,}378\, e / p) = T(1 + 0{,}61q) , \tag{14}$$

где e – парциальное давление водяного пара, q – массовая доля влаги.

Тогда для пульсаций плотности получаем следующее выражение:

$$\rho' / \rho = -(T' / T + 0{,}61q') , \tag{15}$$

где q' – пульсации влажности.

Градиентное число Ричардсона, модифицированное с учетом стратификации влажности, будет определяться следующей формулой:

$$Ri^* = Ri\,(1+I)\,. \tag{16}$$

Здесь $Ri = \dfrac{g}{T}\dfrac{d\theta}{dz}\Big/\left(\dfrac{du}{dz}\right)^2$ – традиционное число Ричардсона; T – средняя абсолютная температура по облачному слою; θ – потенциальная температура; g – ускорение силы тяжести; I – безразмерный параметр, являющийся мерой относительной значимости эффектов стратификации влажности и температуры:

$$I = \lambda/\left(H/LE\right) \tag{17}$$

где $\lambda = 0{,}61\,c_p T/L$ – безразмерный коэффициент; c_p – теплоемкость воздуха при постоянном давлении; E – вертикальный турбулентный поток водяного пара; H – вертикальный турбулентный поток тепла; L – скрытая теплота конденсации.

Будем считать, что влияние температурно-влажностной стратификации на режим вертикальных пульсаций начинает проявляться на масштабах, сравнимых или превышающих лагранжев интегральный масштаб:

$$\tau_L^* = \tau_L\left(1-\beta_1 Ri^*\right)^{\beta_2}, \tag{18}$$

где τ_L – значение лагранжева временного масштаба для условий нейтральной стратификации; β_1 и β_2 – модельные параметры, определяющие чувствительность τ_L^* к модифицированному числу Ричардсона ($0 < \beta_1 \le 1$, $0 < \beta_2 \le 2$).

Тогда, для коэффициента вертикальной турбулентной диффузии получим:

$$\nu = \begin{cases} \widetilde{C}(\varepsilon\,\delta_0)^{2/3} t & \text{при } t < t_{z1} \\ (3/2)C'\varepsilon\,t^2 & \text{при } t_{z1} \le t < t_{z2}\,, \\ \dfrac{\sigma_w^4}{C''\varepsilon}(1-\beta_1 Ri^*)^{\beta_2} & \text{при } t > t_{z2}\,. \end{cases} \tag{19}$$

где $t_{z1} = \delta_0^{2/3}\varepsilon^{-1/3}$, $t_{z2} = \sqrt{\dfrac{2}{3C'C''}}\cdot\dfrac{\sigma_w^2}{\varepsilon}(1-\beta_1 Ri^*)^{\beta_2/2}$.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГО АЭРОЗОЛЯ В ОБЛАКАХ

На основе экспериментальных данных построена эмпирическая модель облака *Cu Cong*, у которого увеличивающиеся в каждой стадии расчета коэффициенты турбулентности рассчитывались по изложенной методике, и налагались на характерный профиль турбулентности. Так коэффициент турбулентности изменяется от 5 – 20 м^2/с на периферии до 100 – 150 м^2/с в центральной части облака. Предполагается, что горизонтальный поток отсутствует, а скорость восходящего потока равна 5 м/с. Засев моделировался запуском серии ракет «Алан-2», вносящих $N_0 = 1 \cdot 10^{16}$ кристаллизующих частиц на траектории 12 км, на высоте 4.5 км над уровнем моря с дискретностью в пространстве 1 км, как это принято на практике противоградовой защиты (рис. 1).

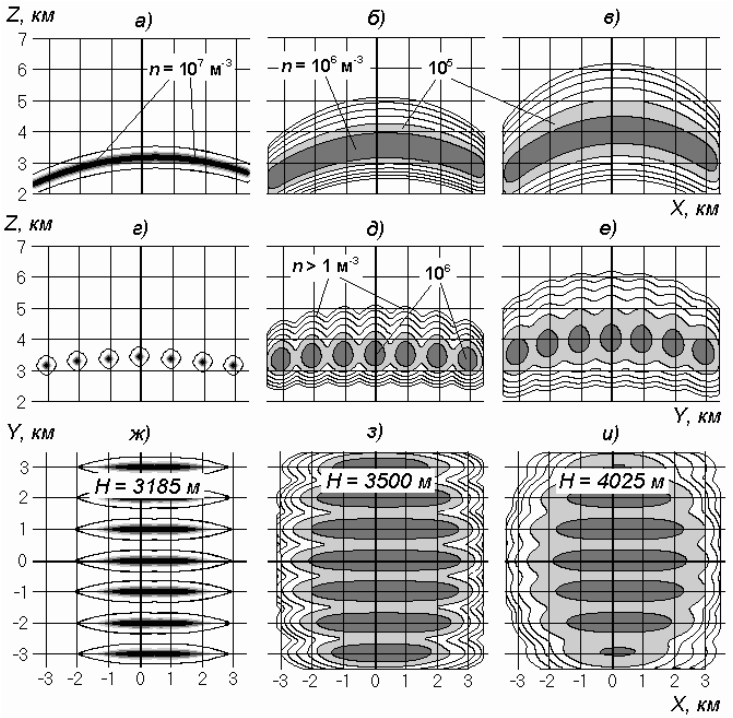


Рис. 1. Вертикальные (*а*—*е*) и горизонтальные (ж—*и*) сечения области распространения аэрозоля в изолиниях концентрации частиц *n* (м$^{-3}$) через 1 (*а*, *г*, *ж*), 3 (*б*, *д*, *з*) и 5 мин (*в*, *е*, *и*) после засева Cu Cong противоградовыми ракетами "Алан-2".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предлагается использовать трехстадийную диффузионную схему при численном моделировании распространения мелкодисперсного аэрозоля в облачной среде. Для каждой стадии получены функциональные зависимости коэффициентов турбулентной диффузии от времени. Влияние температурно-влажностной стратификации атмосферы на вертикальный турбулентный режим учитывалось посредством модифицированного числа Ричардсона.

2. На основе предложенного подхода получены распределения полей концентрации кристаллизующего аэрозоля при относительно малых (порядка нескольких минут) временах диффузии, что особенно важно для учета процессов агрегации кристаллов и правильной оценки времени ускорения осадкообразования.

3. Для повышения эффективности воздействия на быстротечные градовые процессы целесообразно увеличение концентрации активных кристаллизующих частиц, вносимых в зону засева, за счет дальнейшего повышения льдообразующей активности применяемых пиротехнических составов и увеличения количества реагента в противоградовых ракетах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абшаев М.Т. Руководящий документ – Инструкция по активным воздействиям на градовые процессы. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1998. 32 с.
2. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Чванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчёты рассеяния примеси. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991.
3. Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988.

УДК 551.509.9

ЗАЩИТА ОТ РАДИАЦИОННЫХ ЗАМОРОЗКОВ СЛОЕМ ИСКУССТВЕННОГО АЭРОЗОЛЯ

М.Т Абшаев[1], Х.Ж Малкаров[2], Л.Т Созаева[1].

1-Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик
2-Научно-производственный центр «Антиград», г. Нальчик

abshaev@yahoo.com

Заморозки, отражаемость инфракрасного излучения аэрозольными частицами, оптимальная дисперсность, парниковый эффект.

ВВЕДЕНИЕ

Радиационное выхолаживание земной поверхности за счет инфракрасного теплового излучение является основной причиной формирования радиационных заморозков, наносящих серьезный ущерб сельскохозяйственным культурам. В качестве одного из наиболее распространенных методов защиты от радиационных заморозков применяется метод создания дымовых завес, обеспечивающий парниковый эффект [2, 4].

Задача состоит в том, чтобы найти дисперсность искусственного аэрозоля, которая обеспечить максимальный парниковый эффект при минимальных затратах диспергируемого аэрозоля, т.е. обеспечит максимальное поглощение и отражение инфракрасного излучения поверхности земли в окне прозрачности атмосферы $8{,}5 < \lambda < 11$ мкм.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Отражаемость $\eta(\lambda, m, r)$ и объемные коэффициенты ослабления $k_{oc}(\lambda, m, r)$ и поглощения $k(\lambda, m, r)$ зависят от длины волны λ, дисперсности и диэлектрических свойств аэрозоля. Если слой аэрозоля является полидисперсной средой и состоит из сферических частиц, то значения отражаемости, коэффициентов ослабления и поглощения могут быть рассчитаны по формулам:

$$\eta(\lambda, m, r) = \int_0^\infty n(r)\,\sigma(\lambda, m, r)\,dr \qquad (1)$$

$$k_n(\lambda, m, r) = \int_0^\infty n(r)\,\sigma_n(\lambda, m, r)\,dr \qquad (2)$$

$$k_{oc}(\lambda, m, r) = \int_0^\infty n(r)\,\sigma_{oc}(\lambda, m, r)\,dr \qquad (3)$$

где r – радиус аэрозольных частиц; λ - длина волны; m - комплексный показатель преломления вещества частицы (n - показатель преломления и κ - показатель поглощения); $n(r)$ - функция распределения аэрозольных частиц по размерам; $\sigma(\lambda, m, r)$, $\sigma_{oc}(\lambda, m, r)$ и $\sigma_n(\lambda, m, r)$ - поперечные сечения обратного рассеяния, ослабления и поглощения, которые рассчитываются в соответствии с классической теорией рассеяния Ми.

Для выбора оптимальной дисперсности аэрозоля, обеспечивающей максимальное ослабление инфракрасного излучения в окне прозрачности атмосферы, целесообразно положить, что аэрозоль монодисперсный.

При сжигании дымообразующего состава в единице объема создается число частиц аэрозоля N, которое определяется общей массой M диспергируемого дымообразующего вещества и объемом диспергирования

$$N = \frac{3M}{4\pi r^3 \rho V} \qquad (4)$$

где $\rho \approx 1{,}35$ г/см^3 - плотность частиц сажи; V - объем диспергирования, равный $V = L \cdot l \cdot h$ (L - длина пути диспергирования в м; l - ширина области диспергирования в м; а h - толщина слоя аэрозоля в м).

Полагая, что масса аэрозоля, диспергируемого в единице объема $M/V = 1$ г/м^3 и с учетом (4) выражения (1 - 3) примут вид:

$$\eta = 0{,}177\,\frac{\sigma}{r^3}, \qquad (5)$$

$$k_{oc} = 0{,}177\,\frac{\sigma_{oc}}{r^3}, \qquad (6)$$

$$k_n = 0{,}177\,\frac{\sigma_n}{r^3}, \qquad (7)$$

где η, k_{oc}, k_n - выражено в м$^{-1}$; σ, σ_{oc}, σ_n - в мкм^2; r - в мкм.

Согласно закону Бугера, интенсивность проходящего через аэрозольную среду излучения J определяется выражением:

$$J = J_0 e^{-k_{oc} h}, \tag{8}$$

где J_0 - интенсивность падающего излучения.

Степень уменьшения интенсивности восходящего инфракрасного излучения земли τ *в* аэрозольном слое толщиной h, может быть рассчитана по формуле:

$$\tau = \frac{J_0}{J} = e^{k_{oc} h}. \tag{9}$$

РАССЕЯНИЕ, ОСЛАБЛЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АЭРОЗОЛЕМ САЖИ

Расчет рассмотренных интегральных характеристик распространения электромагнитных волн в аэрозольной среде проведен по строгой дифракционной теории Ми для размеров частиц аэрозоля $1 < r < 20$ мкм с шагом $\Delta r = 0{,}1$ мкм для длин волн $1 < \lambda < 20$ мкм с шагом $\Delta\lambda = 1{,}0$ мкм. Были проведены расчеты отношения коэффициентов рассеяния, поглощения и отражаемости к коэффициенту ослабления: $\frac{\kappa_p}{\kappa_{oc}}$, $\frac{\kappa_n}{\kappa_{oc}}$ и $\frac{\eta}{\kappa_{oc}}$. В качестве комплексных показателей преломления на данных длинах волн использовались комплексные показатели преломления для сажи.

На рис. 1*а* и 1*б* показана зависимость коэффициента ослабления и поглощения от размера аэрозоля, а на рис. 1*в* – от длины волны.

На рис. 1*г* представлено семейство кривых зависимости потерь интенсивности инфракрасного излучения в аэрозольном слое от длины волны. Из этого рисунка следует, что двукратное уменьшение интенсивности инфракрасного излучения может быть достигнуто при толщине аэрозольного слоя $h = 1$ м, с массовой концентрацией 1 г/м^3 и дисперсностью $1{,}0 < r < 2{,}0$ мкм.

Однако, учитывая, что продолжительность заморозков обычно составляет несколько часов, необходимо подобрать размер аэрозоля, имеющий минимальную скорость гравитационного оседания при достаточно высокой поглощательной способности.

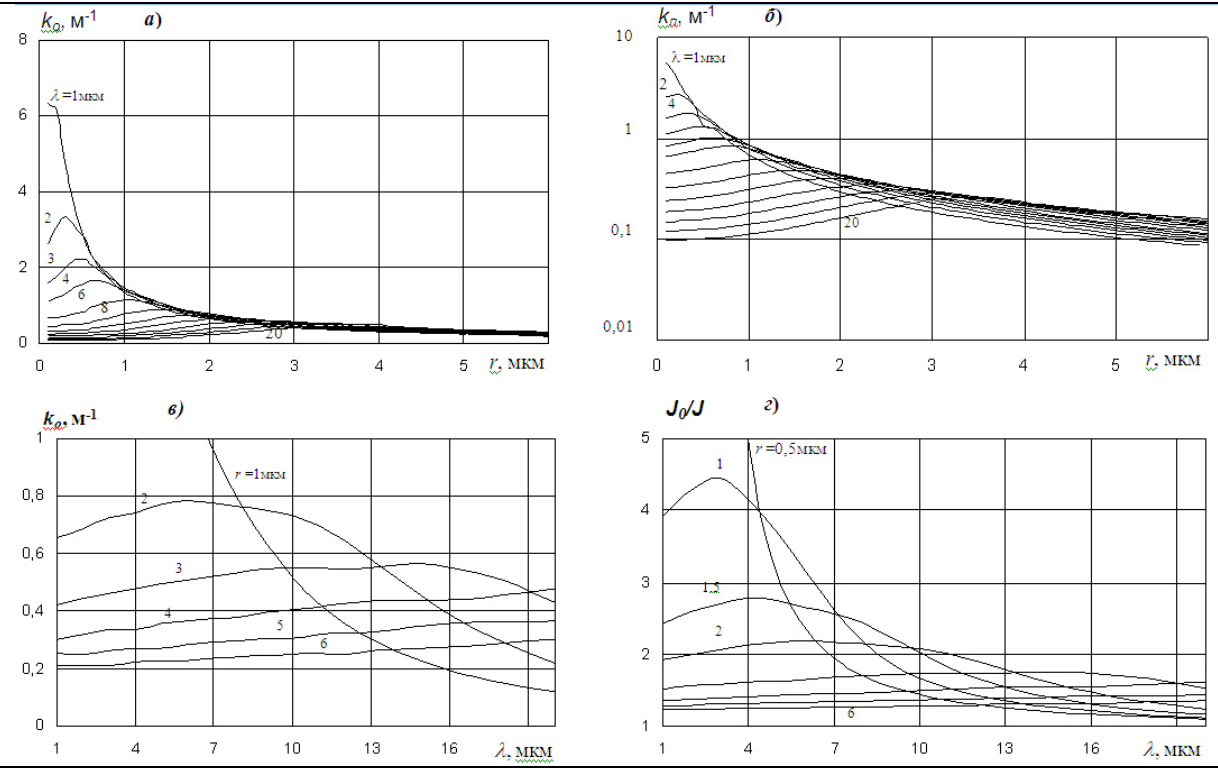

k_o, м$^{-1}$ а)
λ =1мкм
2
3
4
6
8
20
r, мкм
$k_п$, м$^{-1}$ б)
λ =1мкм
2
4
20
r, мкм
k_o, м$^{-1}$ в)
r =1мкм
2
3
4
5
6
λ, мкм
J_0/J г)
r =0,5мкм
1
1,5
2
6
λ, мкм

Рис. 1

Кроме того, необходимо учесть, что реальные источники аэрозоля (дымовые шашки) обычно создают слой аэрозоля достаточно быстро увеличивающийся во времени за счет турбулентной диффузии до нескольких десятков метров. Детальное рассмотрение этого вопроса является предметов дальнейшего исследования. С учетом этих дополнительных факторов можно полагать, что для защиты от заморозков спектр аэрозоля должен иметь максимум в диапазоне размеров $1{,}0 < r < 2{,}0$ мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптимальный для предотвращения радиационных заморозков парниковый эффект может создать аэрозольный слой с содержанием $N \geq 1{,}77 \cdot 10^{11}$ м$^{-2}$ частиц аэрозоля радиусом 1,5÷2μм.

Для широкого применения предлагаемого метода целесообразно создать специальные генераторы непрерывного действия с производительностью около 0,1 кг/с аэрозоля размером 1,5÷2μм. Один такой генератор, установленный на наветренной стороне защищаемой территории, может обеспечить защиту 20 – 40 га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абшаев М.Т., Бурцев И.И., Ваксенбург С.И., Шевела Г.Ф. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 230 с.
2. Абшаев М.Т., Малкаров Х.Ж. Метод защиты от радиационных заморозков // Труды ВГИ. – 2004. – Вып. 92. – С.
3. Золотарев В.М., Морозов В.Н., Смирнова Е.В. Оптические постоянные природных и технических сред. Справочник. – Л.: Химия, 1984. – 216 с.
4. Малкаров Х.Ж. Ослабление инфракрасного излучения в слое искусственного аэрозоля // Труды молодых ученых КБ НЦ РАН. – 2003. – С.
5. Патент РФ, МКИ G01 J 29/08. Способ и устройство защиты от заморозков / Абшаев М.Т. и др. № 2069945. 1994. Заявка от 24.06.1993 №930331104/23.
6. Вопросы защиты растений от заморозков /Под ред. докт. ф.м. наук Юдина М.И./ // Тр. Главной геофизической обсерватории. – Л.: Гидрометеоиздат, 1948. – 156 с
7. Годунов С.К., Рябенький В.С. Разностные схемы. – М.: Наука, 1977. 440 с.
8. Ильин В.О. Анализ конечно-разностных схем численного решения уравнения адвекции. – Метеорология и гидрология. – 1983, № 6. с. 13 - 24.
9. Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б. Математические модели в геофизической гидродинамике и численные методы их реализации. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 296 с.
10. Созаева Л.Т., Малкаров Х.Ж. Оптимизация дисперсности искусственного аэрозоля для защиты растений от радиационных заморозков // Сборник статей V Конференции молодых ученых и аспирантов КБНЦ РАН, Нальчик, 2004.

УДК 551.509.3.003.13

ОЦЕНКА ВКЛАДА И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛЕЗНОСТИ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОГНОЗЕ КОНВЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ

А.О. Агуренко

Всероссийский научно–исследовательский институт гидрометеорологической информации Мировой центр данных, г. Обнинск

alina@meteo.ru

Экономическая полезность, конвективные явления, спутниковая информация

ВВЕДЕНИЕ

В связи с бурным развитием космической компоненты наблюдения за Землей и широким использованием спутниковой информации во всех областях жизни и экономики возникает необходимость развития методов оценивания экономической эффективности от применения спутниковых данных. Развитые к настоящему времени методы оценивания экономической эффективности от применения гидрометеорологической информации ориентированы в основном на отдельные отрасли экономики.

Вместе с тем, представляет интерес оценка экономической эффективности по отдельным видам информации. Особенно это актуально по отношению к спутниковой информации, количество и качество которой постоянно повышается. Спутниковые данные используются практически во всех областях жизни и экономики – прогноз погоды, мониторинг подстилающей поверхности и аварийных ситуаций (ледовая обстановка, наводнения и паводки, состояние растительности, лесные пожары и т.д.), связь, транспорт. При очевидной полезности и незаменимости спутниковых данных развитие объективных и количественных методов оценки их экономической полезности представляется достаточно сложной задачей.

Таким образом, задача определения экономической полезности от применения спутниковой гидрометеорологической информации является достаточно актуальной и сложной, поскольку не имеется разработанных путей и подходов.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

В самом общем представлении можно отметить, что спутниковые гидрометеорологические данные в системе Росгидромета используются для прогноза и мониторинга окружающей среды [3]. Разработка единой методики для всех видов использования спутниковых данных достаточно затруднительна, поэтому целью настоящей работы является попытка выделить и оценить роль спутниковой гидрометеорологической информации для краткосрочного прогноза отдельных локальных, а самое главное труднопредсказуемых конвективных явлений погоды.

Для того чтобы оценить роль спутниковой информации, было решено провести эксперимент. Для этого была изучена статистика по Ленинградской области, а именно данные созданного во ВНИИГМИ-МЦД специализированного массива 1991 – 2010 гг по опасным и неблагоприятным явлениям погоды, которые наносили экономические и социальные потери [2]. На рисунке 1 показано распределение опасных явлений по месяцам. Темным цветом выделено общее количество явлений, а светлым цветом количество предусмотренных, т.е. предсказанных явлений. Видно, что наибольшее количество опасных явлений приходится на летние месяцы, а именно на июль и август, а также на зимние месяцы.

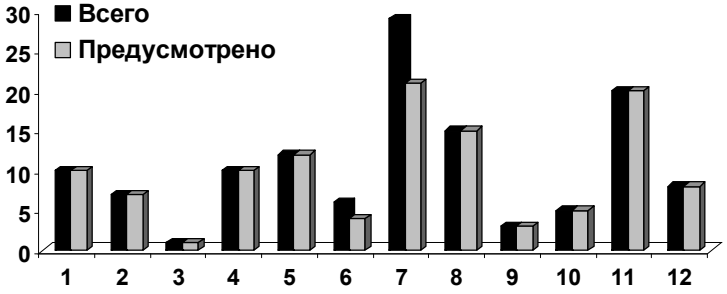


Рис. 1 Распределение опасных явлений по месяцам

Далее показано распределение этих же явления по группам (рис. 2). Наибольшее количество непредусмотренных явлений приходится на ливни, грозы, град и шквалы.

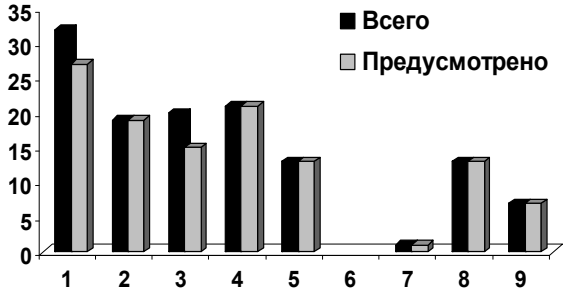


Рис. 2 Распределение опасных явлений по группам:
1 Ветер, смерч, пыльная буря
2 Снег, метель, смешанные осадки, гололед, сложные отложения
3 Дождь, продолжительный дождь, ливень, град, гроза
4 Сильная жара, сильный мороз, аномальная температура
5 Паводок, половодье, затор, зажор, сгонно-нагонные явления
6 Лавины, сели
7 Засуха атмосферная, засуха почвенная, суховей
8 Пожарная опасность
9 Прочие

Таким образом, в качестве прогнозируемых явлений погоды были выбраны опасные локальные конвективные явления (ливни, грозы, град и шквалы) как наиболее труднопредсказуемые. Следующий рисунок 3 подтверждает все вышесказанное, для этих конвективных явлений количество непредсказанных явлений больше чем для всех остальных метео явлений.

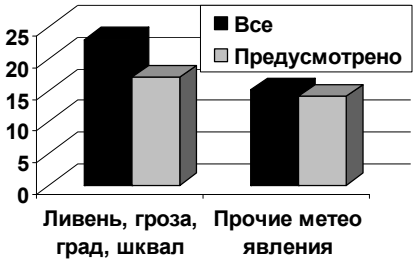


Рис. 3 Распределение конвективных опасных явлений относительно прочих явлений

Для выполнения подобных прогнозов была достигнута договоренность с Гидрометцентром Северо-Западного УГМС, г. Санкт-Петербург. В течение июля и августа 2010 года сотрудниками Гидрометцентра Санкт-Петербурга был проведен эксперимент, в ходе которого параллельно двумя синоптиками составлялись два прогноза,

один с использованием спутниковой информации, второй без использования спутниковой информации. Спутниковая информация для составления прогноза использовалась с геостационарного спутника Meteosat 8, и орбитальных спутников серии NOAA. С геостационарного спутника синоптики каждые 15 минут получали свежую картинку облачных образований в двух диапазонах – инфракрасном и видимом. Что позволяет более точно определять начало развития конвекции и, соответственно, более точно предсказывать начало образования опасных явлений. Снимки со спутников серии NOAA позволяют более детально и крупномасштабно проанализировать развитие конвективных облаков и с помощью прикладной программы осуществить детальную обработку, для получения дополнительных параметров облачности.

Результаты эксперимента заносились в таблицу для дальнейшего сравнения с фактически наблюдаемые в эти же дни явлениями погоды, наличие конвективных явлений обозначалось – 1, отсутствие их – 0. Такие же обозначения использовались и для фактически наблюдавшихся явлений. В результате эксперимента были получены 2 таблицы с данными за июль и за август.

ОПИСАНИЕ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛЕЗНОСТИ

Для оценки успешности прогнозов имеется ряд методик основанных на составлении матрицы сопряженности, в которой сопряженность прогноз-факт выражается числом случаев, частотой n_{ij}. Общий вид матрицы сопряженности показан ниже (рис. 4).

Фактически наблюдалось, Φ_i	Прогнозировалось, Π_j		$\sum_{j=1}^{m=2} n_j$
	Π - наличие явления, неблагоприятного условия погоды	$\overline{\Pi}$ - отсутствие явления, неблагоприятного условия погоды	
Φ - явление наблюдалось	n_{11}	n_{12}	n_{10}
$\overline{\Phi}$ - явление не наблюдалось	n_{21}	n_{22}	n_{20}
$\sum_{i=1}^{n=2} n_i$	n_{01}	n_{02}	N

Рис. 4 Общий вид матрицы сопряженности

Численные расчеты и сравнительный анализ проводились на основании данных матриц сопряженности по следующим критериям [1]:

- $p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} \cdot 100$ общая оправдываемость прогнозов, под оправдываемостью прогнозов понимается их общая оправдываемость как отношение числа оправдавшихся прогнозов к общему числу случаев
- $Q = 1 - \left(\frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right)$ критерий точности прогнозов по Обухову – определяет долю точных, успешных прогнозов при известной повторяемости фаз погоды, он меняется в пределах от 1 до -1 (идеальные прогнозы и все прогнозы ошибочны)
- $H = \frac{p - p_{сл}}{1 - p_{сл}}$ критерий надежности прогнозов по Багрову – характеризует относительно приращение общей оправдываемости оцениваемых прогнозов (по сравнению со случайными) к максимально возможному
- $p_x = \frac{1}{N} \left[n_{11} \left(1 - \frac{n_{12}}{n_{10}} \right) + n_{22} \left(1 - \frac{n_{21}}{n_{20}} \right) \right]$ взвешенная оправдываемость по Хандожко – выступает в качестве такой меры оправдываемости, которая учитывает взвешенную «цену» оправдавшихся прогнозов, при этом учитываются веса ошибок-пропусков и ошибок-страховок
- $A_x = 0{,}5 \left[\left(\frac{n_{11}}{n_{01}} + \frac{n_{22}}{n_{02}} \right) - \left(\frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right) \right]$ адекватность прогнозов по Хандожко – этот критерий учитывает условный по прогнозу успех и безусловную по факту ошибочность прогнозирования
- $\tau = \frac{\sum_i \sum_j \left[\left(N n_{ij} - n_{i0} n_{0j} \right)^2 / n_{0j} \right] + \sum_i \sum_j \left[\left(N n_{ij} - n_{i0} n_{0j} \right)^2 / n_{i0} \right]}{2N^3 - N \left(\sum_i n_{i0}^2 + \sum_j n_{0j}^2 \right)}$ меры Гудмена-Крускала – позволяют оценить зависимость различных категорий в пропорции наблюдаемых итогов

Каждый из этих критериев не дает исчерпывающей информации об успешности прогнозов, в то время как их совокупность позволяет получить более полное представление об их качестве.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ

Для расчета количественных оценок экономической полезности использования спутниковой информации в прогнозе конвективных явлений на основе экспериментальных прогностических данных и фактически наблюдавшихся явлений погоды были сформированы матрицы сопряженности прогнозов с использованием спутниковой информации и без использования спутниковой информации. Ниже приведены примеры таких матриц за июль и август 2010 г (рис. 5).

июль 2010г								август 2010г							
без спутниковой информации				со спутниковой информацией				без спутниковой информации				со спутниковой информацией			
Φ_j \ $П_i$	$П$	$\overline{П}$	$\sum_i$	Φ_j \ $П_i$	$П$	$\overline{П}$	$\sum_i$	Φ_j \ $П_i$	$П$	$\overline{П}$	$\sum_i$	Φ_j \ $П_i$	$П$	$\overline{П}$	$\sum_i$
Φ	10	0	10	Φ	10	0	10	Φ	12	2	14	Φ	14	0	14
$\overline{\Phi}$	3	9	12	$\overline{\Phi}$	1	11	12	$\overline{\Phi}$	9	8	17	$\overline{\Phi}$	1	16	17
$\sum_j$	13	9	22	$\sum_j$	11	11	22	$\sum_j$	21	10	31	$\sum_j$	15	16	31

Рис. 5 Матрицы сопряженности прогнозов опасных явлений за июль и август 2010г

На основании данных матриц сопряженности были проведены расчеты по описанным выше критериям, результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета по прогнозам опасных явлений Санкт-Петербург

	июль 2010г		август 2010г	
	без спутника	со спутником	без спутника	со спутником
Общая оправдываемость	86,36%	95,45%	64,52%	96,77%
Надежность по Багрову	0,73	0,91	0,33	0,94
Точность по Обухову	0,75	0,92	0,33	0,94
Оправдываемость по Хандожко	0,75	0,92	0,74	0,94
Адекватность по Хандожко	0,76	0,91	0,28	0,94
Гутман-Крускал	0,58	0,83	0,12	0,88

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет по каждому из приведенных выше критериев показал, что прогнозы, составленные с использованием спутниковой информации, являются более успешными, оправдываемыми и точными, чем прогнозы без использования спутниковой информации. Таким образом, были получены количественные оценки экономической полезности использования спутниковых данных для прогноза отдельных гидрометеорологических явлений. По различным критериям экономической полезности вклад спутниковых данных в точность и оправдываемость прогнозов составляет от 15% до 60%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. // Гидрометеоиздат. 2005. с. 210-212, 332-334
2. Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Шаймарданов М.З. Базы данных об опасных гидрометеорологических явлениях на территории России и результаты статистического анализа // Метеорология и гидрология, 2009, №11, с. 8-11.
3. Обработка и использование спутниковой информации при составлении гидрометеорологических прогнозов. // http://ipk.meteorf.ru/

УДК 551.501.81

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ГРАДООПАСНОСТИ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

А.А. Аджиева, И.Х. Машуков, В.А. Шаповалов

Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик

idar84@rambler.ru

Ключевые слова: градоопасность, конвективные облака, грозовая активность, молниевые разряды, град.

ВВЕДЕНИЕ.

Относительная недоступность грозоградовых облаков для прямых инструментальных измерений является причиной того что, несмотря на обширные знания об облаках, нет строгой теории образования и выпадения ливневых осадков и града. Остается много неизвестного об этих быстро растущих облаках, способных практически мгновенно стать опасными и вызвать разрушительный град и приземные ветры, уничтожить сельскохозяйственные посевы и собственность, вызвать наводнения и даже привести к человеческим жертвам (рис. 1).

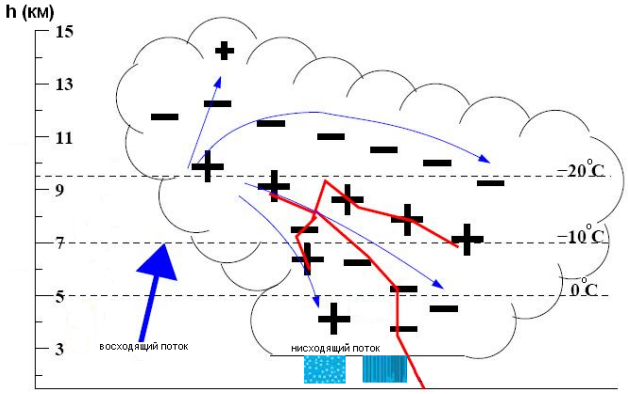


Рис. 1. Схематическое изображение типичного конвективного облака

ОЦЕНКА ГРАДООПАСНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

С зарождением, ростом и выпадением града происходит постепенное изменение грозовой активности и ее максимум приходится на момент выпадения града.

Сопоставление результатов измерения числа грозовых разрядов с зарождением и выпадением града показывает, что момент выпадения града всегда приходится на интервал времени наибольшей грозовой активности кучево-дождевых облаков. Появление градовых частиц в облаке увеличивает грозовую деятельность в 2 - 2,5 раза.

Наряду с исследованиями зависимости грозовой активности от наличия и выпадения града [1] были проведены исследования взаимосвязи изменения грозовой активности и характера изменения диаметра града в облаке [2].

В развитие этих работ в данной работе был проведен многофакторный анализ взаимосвязи между грозовыми характеристиками (продолжительность грозового состояния, интенсивность разрядов молнии, общее количество разрядов и т.д.) и градовыми характеристиками облака (продолжительность градоопасного состояния, диаметр градин и площадь радиоэхо облако с параметрами отражаемости более 10^{-9} см$^{-1}$). Проведенный анализ показал, что наиболее высокая корреляционная связь имеет место между интенсивностью молниевых разрядов и диаметром градин, регистрируемые в облаке радиотехническими средствами. Распознавание градовых и градоопасных облаков и оценка степени их градоопасности осуществляется одноволновым и двухволновым радиолокационными методами.

На основе анализа данных радиолокационных измерений среднего размера градин (D) в конвективных облаках и их грозовой активности (N) нами получено корреляционное соотношение

$$N = aD + в\ , \qquad (1)$$

Где n - число молниевых разрядов в облаке в минуту (раз.$\cdot$ мин$^{-1}$); D -диаметр градин в облаке (см); a и $в$ - численные коэффициенты, найденные методом наименьших квадратов:

a = 12 раз.$\cdot$ мин$^{-1}\cdot$ см$^{-1}$, $в$ = 5 раз.$\cdot$ мин$^{-1}$.

На рис. 2 представлен график линейной зависимости среднего диаметра градин в облаке от количества молниевых разрядов в минуту.

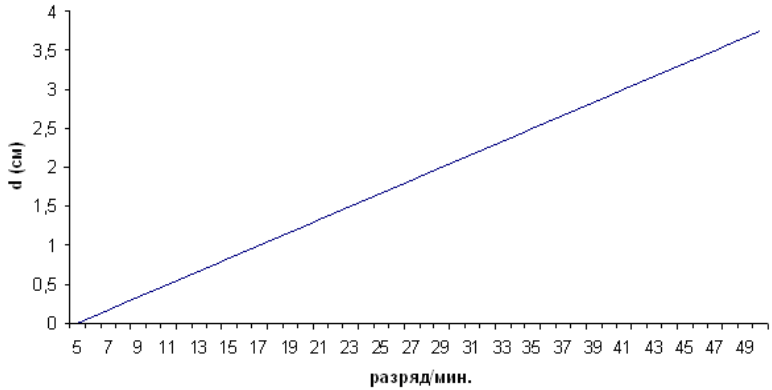


Рис. 2. График зависимости среднего диаметра градин в облаке от количества молниевых разрядов в минуту

Процесс градообразования в конвективном облаке начинается позже, чем грозовая активность. Грозовая активность продолжается и после прекращения индикации града в облаке. Молниевые разряды и их количество являются ключевым показателем расположения, интенсивности и развития конвекции и высокой концентрации гидрометеоров, а также показателем развития и интенсивности ячейки грозы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено, что в зависимости от синоптических ситуаций от 21 до 27 % из всех облачных ячеек, переходящих в грозовые состояния, становятся градоопасными.

Косвенным подтверждением, что данное грозовое облако становится градоопасным, является:

1. Наличие грозовых разрядов с интенсивностью до 5 разрядов в минуту.

2. Увеличение со временем интенсивности молниевых разрядов. Облако является градовым, если интенсивность молниевых разрядов в минуту превышает 10 раз. $\cdot$ мин$^{-1}$ (рис. 3,4).

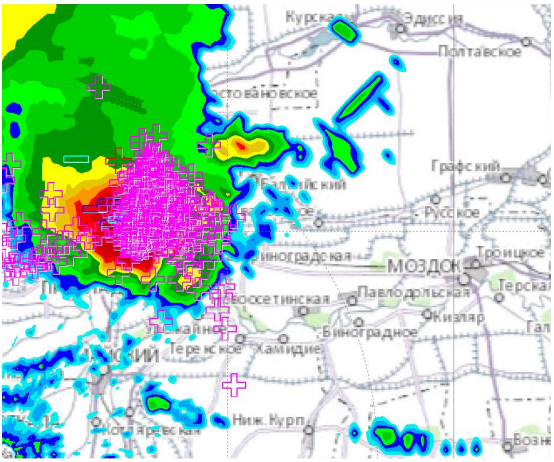


Рис. 3 Сопряженные данные МРЛ-5 и грозопеленгатора по мощному конвективному облаку (количество разрядов и отражаемость позволяет классифицировать его как градоопасное)

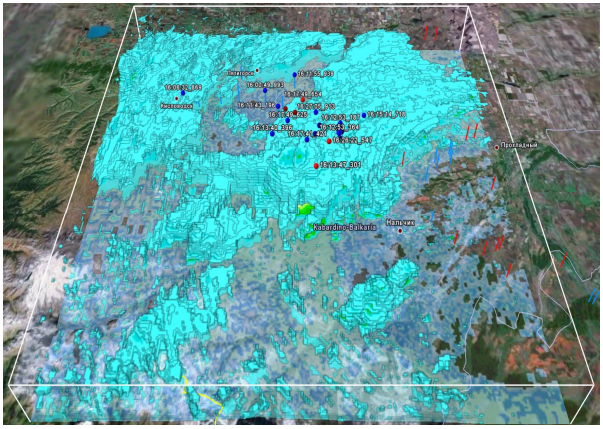


Рис. 4 То же облако в режиме 3D

СПИСОК ЛИТЕТУРЫ

1. Медалиев Х.Х., Кяров Х.Б., Сижажев С.М. Электрическая активность градоопасных облаков.//Труды ВГИ. - 1979. Вып.42.- с.89-98.
2. Сижажев С.М. Взаимосвязь грозовых и градовых явлений в кучево-дождевых облаках./Труды ВГИ.- Вып.65. - с.76-80.

УДК 551. 31 1.21.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ КОЭФФИЦИЕНТА СЕЛЕАКТИВНОСТИ В КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

М.М. Гяургиева, Н.В Кондратьева, Т.Р. Тлугачев

Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик

Kondratyeva_nat@mail.ru

Селевая активность, селеносная долина, селевое русло, суммарный объем селевых выносов.

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа является продолжением начатых исследований по районированию территории Северного Кавказа по селевой активности [1,2].

На территории Карачаево-Черкесской республики, горная часть которой образована системой высокогорных и среднегорных хребтов и их отрогов, имеются все необходимые условия и предпосылки для развития селевых процессов. Однако по сравнению с соседними республиками Северного Кавказа, расположенными восточнее, селевая деятельность в Карачаево - Черкессии в целом проявляется значительно слабее и имеет ряд отличительных черт [3,4].

Прежде всего, отчетливо выражено убывание селевой активности по мере удаления к западу от массива Эльбруса и к северу от высокогорий. При этом подавляющее большинство выявленных селевых бассейнов находится в труднодоступных и малонаселенных районах, приуроченных к Главному Кавказскому, Боковому и Передовому хребтам и межгорным котловинам.

О сравнительно слабой селевой активности на территории республики в настоящее время говорит и тот факт, что очень немногие из выделенных в ее горной части селевых бассейнов имеют свежие селевые конусы. В большинстве селеносных долин конусы выноса хорошо задернованные, и часто залесенные, с выположенными селевыми валами и глубокими врезами современных водотоков, что говорит о давности прохождения селей [5].

В данный момент на территории КЧР известно 509 селевых русел. Наибольшее их количество сосредоточено в бассейнах Теберды

- 102, Уллукама - 84, Малого зеленчука - 80, а наименьшее в бассейнах Кубани- 24, Урупа - 6, Кумы - 5, Хасаута - 2.

Общая протяжённость селевых русел составляет около 2382,1 км. Средняя длина селевых русел 4,7 км.

Количество селевых русел закономерно уменьшается с уменьшением абсолютных высот и составляет в высокогорье 349 (69 %); в среднегорье – 147 (29 %).

Общая площадь поражённости селевыми явлениями на рассматриваемой территории составляет около 3879,5 км^2, варьируя от 0,1 км^2 до 129 км^2 [6].

Задача состоит в том, чтобы рассчитать селевую активность различных притоков бассейна р. Теберда и построить график зависимости селевой активности от площади селевого бассейна.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Нами был создан архив данных о сходе селей в КЧР за 50 лет. Его основой являются данные Северо-Кавказского ЦГМС-Р и ГУ ВГИ.

На основании анализа временных рядов проявления селей в типичном для Западного Кавказа бассейне реки Теберда (Карачаево-Черкесская республика) в настоящей работе представлены, полученные количественные значения селевой активности в регионе КЧР.

Главным критерием в оценке селевой опасности горных территорий является селеактивность – параметр, характеризующий согласно В.Ф. Перову [7] интенсивность развития селевого процесса во времени и в пространстве.

Знание селеактивности позволяет оценить возможную селевую опасность конкретного бассейна, а с ней и угрозу расположенным здесь хозяйственным объектам.

Для оценки селевой активности во времени в пределах одного селевого бассейна используют значения повторяемости и объема селевых выносов.

Понятие селевая активность было введено С.М. Флейшманом [8] и определяется выражением:

$$P = \sum W \Big/ T \ .$$

Это выражение представляет собой отношение суммарного объема селевых выносов $(\sum W)$ за какой-то длительный отрезок времени непрерывных наблюдений за селями Т (число лет).

В таблице приведены собранные нами данные с 1951 по 2008 гг. СК ЦГМС-Р и дополненные материалами ГУ ВГИ на основании регистрации селевых процессов. Эти данные использовались нами для расчетов селеактивности различных притоков бассейна реки Теберда.

В таблице приводятся следующие характеристики: S (км^2) - площадь селевого бассейна, L (км) - длина селеносного русла реки, W (м^3) - фактические данные об единовременных объемах селевых выносов в пределах от средних до максимальных, за 50 - летний ряд наблюдений, ΣW (м^3) – суммарный объем селевых выносов по каждому бассейну за период наблюдений, n (число раз) - частота схода селей за период наблюдений, T (число лет) - период наблюдений, а также рассчитанная нами селеактивность (графа 9).

Суммарный объем селевых выносов, в случаях достоверно установленных дат схода селей и их объемов выноса, определялся их суммированием за весь период наблюдений. Если была известна частота схода селей, без конкретизации дат, то принят постулат, что за период в 50 лет в данном бассейне наблюдался только один случай максимального селепроявления, а все остальные рассчитывались, как среднее проявление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных (таблица) показывает, что максимальная активность селей за 50 лет наблюдалась в бассейнах средних высокогорных рек с площадями водосборов от 6 до 27,2 км^2. Амплитуда изменения селевой активности составила 100 до 11 000 м^3/год. Наибольшая селевая активность (P) наблюдается у левого притока с оледенением р. Теберда - Аманауз (11 000 м^3/год), а так же у правого притока Джемагат (6 000 м^3/год). В этих же бассейнах наблюдались максимальные единовременные объемы выносов – 100 и 30 тыс. м^3 соответственно. Селевая активность самых малых селеносных рек с площадью водосбора до 1 км^2 составила около 1000 м^3/год.

Полученные результаты расчетов графически отображены на рисунке. На этом рисунке показан степенной тренд изменения селеактивности (P) с увеличением площади селевого бассейна (S). При этом коэффициент множественной детерминации (R^2) равен 0,63, что означает 63 % изменения значений показателя селеактивности (P) обусловлено изменением показателей площади бассейна.

Как видно из рисунка, имеет место рост селеактивности с увеличением площади водосбора в географических условиях Западного Кавказа. Данный факт позволяет сделать вывод о том, что

чем больше площадь бассейна, тем большая часть его площади участвует в селеформировании.

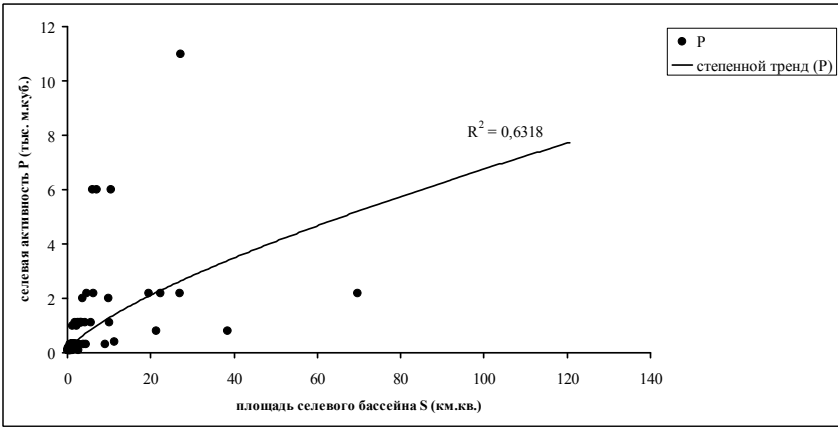


График зависимости селевой активности от площади селевого бассейна

Количественные значения селевой активности позволяют судить о возможной селевой опасности конкретного бассейна, а с ней и об угрозе народнохозяйственным объектам.

Следующим этапом работы нами планируется поиск корреляционных связей коэффициентов селевой активности с морфометрическими характеристиками бассейнов, которые достаточно легко определяются по аэрофотоснимкам. Использование полученных функциональных связей необходимо для предварительной оценки селеопасности неизученных горных территорий.

При этом в качестве исходных данных может быть использована приведенная в данной работе методика расчета селевой активности.

Исследования проведены в рамках гранта РФФИ, проект № 09-05-96522.

Морфометрические характеристики притоков реки Теберда.
Расчетные значения коэффициентов селевой активности (Р)

Таблица

Название притока	Адрес селевого бассейна	Генезис	Площадь, ($км^2$)	Длина (км)	Объем тыс.$м^3$ (сред.-макс)	повторяемость за 50 лет	Весь объем за 50 лет (тыс. м3)	Р (тыс. м3)
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Хутый	Левый приток р. Аманауз	Д	22,4	9	10-20	10	110	2,2
Хаджибей	Левый приток р. Бадук	Д	19,5	7	10-20	10	110	2,2
Безымянный	Левый приток р.Алибек у г. Семенов-Баши	Д	3,7	3,8	10	10	100	2
Алибечка	То же с устьем у а/л "Алибек"	Д	6,2	3,8	10-20	10	110	2,2
Безымянный	Правый приток р. Алибек	Д	1,9	1,8	5-10	10	55	1,1
Безымянный	Левый приток р.Аманауз	Д	0,9	1,2	1-2	10	11	0,2
Безымянный	Левый приток р.Аманауз	Д	1,9	2,6	1-2	10	11	0,2
Безымянный	Левый приток р.Аманауз	Д	0,3	0,6	1-2	10	11	0,2
Безымянный	Правый приток р. Аманауз	Д	0,1	0,1	0,5	10	5	0,1
Безымянный	Правый приток р.Аманауз	Д	0,2	0,2	0,5	10	5	0,1
Безымянный	Правый приток р. Аманауз	Д	0,2	0,2	0,5	10	5	0,1
Безымянный	Правый приток р. Гоначхир	Д	1,5	2,8	1-5	10	14	0,3
Безымянный	Правый приток р. Гоначхир	Д	0,7	2	1-5	10	14	0,3
Безымянный	Правый приток р. Гоначхир	Д	1,3	2,4	1-5	10	14	0,3

Название притока	Адрес селевого бассейна	Генезис	Площадь, ($км^2$)	Длина (км)	Объем тыс.$м^3$ (сред.-макс)	повторяемость за 50 лет	Весь объем за 50 лет (тыс. м3)	Р (тыс. м3)
Безымянный	Правый приток р. Гоначхир	Д	2,7	2,4	1-5	10	14	0,3
Безымянный	Правый приток р. Гоначхир	Д	1,3	2,4	1-5	10	14	0,3
Безымянный	Правый приток р. Гоначхир ниже кордона Гоначхир	Д	1	2	1-5	10	14	0,3
Безымянный	Правый приток р.Гоначхир в 1,5 км выше устья р.Гоначхир	Д	0,2	0,3	0,5	10	5	0,1
Алибек (Верховья)	Левый приток р. Аманауз от истоков до п.Домбай	Д;ЛД	27	8,5	10-20	10	110	2,2
…….								

Примечание: Из-за большого объема в таблице приводятся только часть данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьева Н.В., Кумукова О.А. Расчет коэффициента селевой активности и коэффициента селевой денудации по селевым притокам реки Баксан (Центральный Кавказ. Кабардино-Балкарская республика). Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Науки о земле. г. Ростов-на-Дону. 2007. с. 70-73.
2. Кондратьева Н.В., И.Б. Сейнова, А.Х. Аджиев, О.А. Кумукова. Районирование территории Кабардино-Балкарской республики (Центральный Кавказ) по селевой активности и селевой денудации. XIV Гляциологический симпозиум «Гляциология от Международного геофизического года до Международного полярного года», Иркутск, 2-9 сентября 2008. Тезисы. Из-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. с. 113-114.
3. Гронский В.М. Малоизвестные данные о селях в бассейнах рек Кубани и Терека//Информ. письмо СК ЦГМС-Р. Ростов н/Д, 1965. Вып. 7 (78).
4. Милановский Е.Е. Хаин В.Е. Геологическое строение Кавказа. – М.: МГУ. 1963.
5. Кадастр. Лавинно-селевой опасности Северного Кавказа под редакцией академика РАН М.Ч. Залиханова – С.-Пб.: - Гидрометеоиздат, 2001. - 112 с.
6. Волобуева Л.Л. Селевые явления и селеопасные районы Карачаево-Черкесской республики. (Западный Кавказ). СК ЦГМС-Р. Ростов н/Д, 2008.
7. Перов В.Ф. Селевые явления. Терминологический словарь. -М.: МГУ, 1996. -45 с.
8. Флейшман С.М. Сели. – Л.: - Гидрометеоиздат, 1978 – 312 с.

УДК 551.501.815

О ПРОБЛЕМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ ВЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДОПЛЕРОВСКОГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РАДИОЛОКАТОРА

Ю.В. Кулешов, А.М. Девяткин, С.В. Чернышев, А.А. Корыстин

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского г. Санкт-Петербург

9730682@mail.ru

Радарная метеорология, опасные явления погоды, сдвиг ветра, ДМРЛ, МРЛ.

ВВЕДЕНИЕ

Постоянному повышению уровня технологического и конструкционного исполнения инженерных систем сопутствует повышение влияния метеорологической обстановки на процесс их функционирования

Одним из существенных факторов метеорологической обстановки является ветер, который оказывает существенное влияние на:

— выполнение задач всеми видами авиации;

— запуски и приземления космических аппаратов;

— полёты беспилотных летательных аппаратов;

— обеспечение деятельности подразделений МЧС и ВС РФ;

— обеспечение агропромышленного комплекса;

— расчёт областей и интенсивностей загрязнения отравляющими веществами при техногенных катастрофах;

— расчёт областей и интенсивностей распространения огня при возгорании лесов.

К особенностям диагностики поля ветра для решения указанных задач относят:

— требования к высокой оперативности получения данных о ветре (порядка нескольких минут);

— необходимость диагностики поля ветра с высокой детализацией над большими по площади районами (порядка нескольких сотен километров), в том числе над районами, с трудно проходимой местностью;

— требования к высокой детализации параметров поля ветра по области диагностики (порядка нескольких километров по горизонтали и нескольких сотен метров по вертикали).

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ

В настоящее время для определения параметров ветра используются такие способы как [1]:

— аэрологическое зондирование;

— определение характеристик ветра с использованием профилировщиков ветра;

— шаропилотные наблюдения;

— ракетное зондирование;

— использование синоптических карт.

Традиционные методы определения ветра обладают следующими недостатками.

Аэрологическое зондирование производится, как правило, на редкой сети станций с периодичностью 1 раз за 12 часов. Зонд поднимается до высоты 30 км за 1,5-2 часа, что не отвечает требованиям оперативности.

Современные профилировщики ветра позволяют диагностировать ветер только в пункте зондирования и до высот 10 км. Аппаратура профилировщика в настоящее время весьма громоздка.

Шаропилотные наблюдения позволяют диагностировать ветер только до высот 3 км при наличии хорошей видимости.

Методы ракетного зондирования обеспечивают определение ветра только до высоты 80 км. Однако, с начала 90-х годов сеть станций ракетного зондирования практически не функционирует.

При использовании синоптических карт невозможно диагностировать ветер с необходимой точностью и пространственным разрешением.

Учитывая вышеизложенное, отметим, что все выше приведенные методы измерения привязаны к метеорологическим и аэрологическим сетям Гидрометцентра или других ведомств, измерения проводятся в строго отведенное время, что ограничивает возможность их использования при оперативном метеорологическом обеспечении потребителей.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Таким образом, с одной стороны, для обеспечения деятельности различных министерств и ведомств необходима оперативная диагностика поля ветра в районах с размерами порядка нескольких километров, с другой стороны, в РФ отсутствуют средства

диагностики поля ветра Российского производства с требуемыми оперативностью и пространственным разрешением.

Использование отечественного ДМРЛ позволит разрешить данную проблему. В настоящее во ФГУП «Завод «Энергия» разработан доплеровский метеорологический радиолокатор МРЛМ, который проходит государственные испытания.

ДМРЛ позволяет диагностировать различные параметры атмосферы, в том числе доплеровскую скорость гидрометеоров в районе с радиусом до 200 км и по высоте до 20 км.

Программным продуктом большинства доплеровских МРЛ являются карты радиальной скорости ветра, которые пригодны лишь для определения «среднего» направления ветра.

Нами предлагается способ расчёта ветра на основе ряда пространственных измерений доплеровских скоростей в локальном районе (порядка нескольких километров).

Задача определения параметров ветра по результатам измерений ДМРЛ может быть сформулирована следующим образом.

Доплеровский радиолокатор осуществляет измерения радиальных скоростей гидрометеоров в некоторой области D.

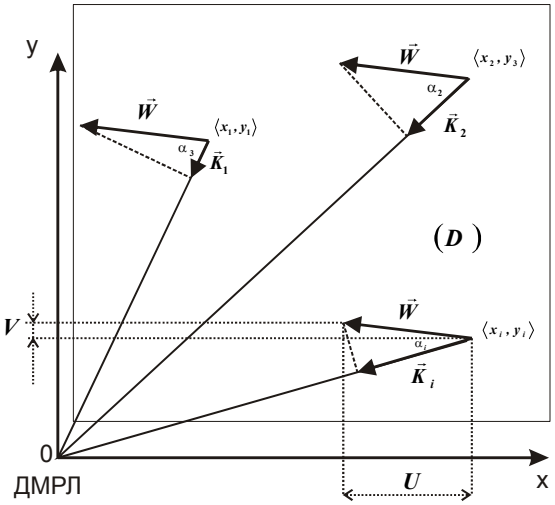


Рис. 1 – Иллюстрация к объяснению сущности способа определения характеристик поля ветра по данным доплеровского радиолокатора

На рис. 1 представлены проекции $\vec{K}_i$ радиальной скорости, которые и измеряются радиолокатором (для упрощения иллюстрации

считается, что ДМРЛ находится в одной горизонтальной плоскости с гидрометеорами).

Задача заключается в определении оценки скорости $\tilde{\vec{W}} = \langle \tilde{U}, \tilde{V} \rangle$ по известным (измеренным доплеровским радиолокатором) оценкам $\tilde{K}_i$ – значений радиальных скоростей $\vec{K}_i$ в точках с координатами $\langle x_i, y_i \rangle$, где число измерений равно n $(i \in 1, 2, ..., n)$.

НАПРАВЛЕНИЕ РЕШЕНИЯ НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ

При решении задачи используется допущение: скорость ветра $\vec{W}$ считается неизменной в области D, имеющей размеры L км х L км (например, $L = 4$ км). Допущение обосновано малой изменчивостью ветра по горизонтали в областях рассматриваемого масштаба.

В рамках приведенной постановки – задача может быть решена при наличии двух измерений $\vec{K}_i$. Однако оценки $\tilde{\vec{K}}_i$ скорости $\vec{K}_i$ получаются с некоторой ошибкой $\vec{\Delta}_i = \vec{K}_i - \tilde{\vec{K}}_i$, которая не равна нулю. Поэтому $\tilde{\vec{W}} = \langle \tilde{U}, \tilde{V} \rangle$ будет рассчитываться с некоторой ошибкой. Для того, чтобы компенсировать указанные ошибки будем использовать более двух измерений K_i.

Для нахождения оценок $\langle \tilde{U}, \tilde{V} \rangle$ воспользуемся методом наименьших квадратов [2], для этого минимизируется функцию

$$L = \sum_{i=1}^{n} \left(f(U, V, i) - \tilde{K} \right)^2, \tag{1}$$

т.е.

$$\langle \tilde{U}, \tilde{V} \rangle = \underset{\langle \tilde{U}, \tilde{V} \rangle \in \{\langle U, V \rangle_Д\}}{\arg} \min L(U, V) =$$

$$= \underset{\langle \tilde{U}, \tilde{V} \rangle \in \{\langle U, V \rangle_Д\}}{\arg} \min \sum_{i=1}^{n} \left(f(U, V, i) - \tilde{K} \right)^2. \tag{2}$$

где $f(U,V,i)$ – функция, возвращающая значение K по данным U и V в точке i.

Путем некоторых математических преобразований параметры $\left\langle \widetilde{U},\widetilde{V} \right\rangle$ могут быть найдены следующим образом

$$\left\langle \widetilde{U},\widetilde{V} \right\rangle = A_{[2,2]}^{-1} L_{\langle 2 \rangle} \tag{3}$$

где: $A_{[2,2]} = \begin{bmatrix} \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i^2}{x_i^2 + y_i^2} \right] & \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i y_i}{x_i^2 + y_i^2} \right] \\ \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i y_i}{x_i^2 + y_i^2} \right] & \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{y_i^2}{x_i^2 + y_i^2} \right] \end{bmatrix}$,

а $L_{\langle 2 \rangle} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} \widetilde{K}_i \frac{x_i}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2}} \\ \sum_{i=1}^{n} \widetilde{K}_i \frac{y_i}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2}} \end{bmatrix}$.

Выражение (3) представляет собой решение задачи нахождения составляющих скорости ветра, сформулированной выше, на основе использования метода наименьших квадратов.

Данный подход реализован в разработанном во ФГУП «Завод» Энергия» Метеорологическом радиолокаторе малогабаритном (МРЛМ).

Сравнение карт поля ветра по данным МРМЛ, построенных с использованием разработанного метода, с данными радиозондирования, проводимого на станции Воейково, показывает приемлемую точность данного метода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическая ценность результатов исследований обусловлена следующими обстоятельствами.

Во-первых, обосновывается новое требование к доплеровским метеорологическим радиолокаторам, а именно: требование по расчёту характеристик поля ветра по району радиолоцирования.

Во-вторых, будут расширены возможности по диагностике поля ветра, что обеспечит расширение возможностей по гидрометеорологическому обеспечению потребителя оперативными данными о ветре высокого разрешения.

В-третьих, разработанная методика диагностики ветра может использоваться в задачах метеорологического обеспечения гражданских потребителей, в том числе для насыщения исходными данными региональных гидродинамических моделей.

В-четвёртых, использование данной методики в малогабаритных МРЛ позволит, в отличие от профилировщиков ветра, установить их на автомобиле и, тем самым обеспечить мобильность решения задач оперативного детального определения поля ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капустин А.В., Сторожук Н.Л. Технические средства метеорологической службы. – Санкт-Петербург: «Издательское агентство «Энергомашиностроение», 2005.

2. Уланова Е.С., Забелин В.Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990.

3. Абшаев М.Т., Бурцев И.И., Ваксенбург С.И., Шевела Г.Ф. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980.

4. Справочник по радиолокации в 4-х томах. Под ред. Сколника М.: Пер с англ. под ред. К. Н. Трофимова. – М.: «Сов. радио», 1976-1979.

5. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. — М.: Радиотехника, 2004.

6. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Ширмана Я. Д. Учебное пособие для вузов. М.: Советское радио, 1970.

7. Финкельштейн М. И. Основы радиолокации: Учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1983.

УДК 551.509.313.314

МЕТОД МНОГОМОДЕЛЬНОГО СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Н.О. Моисеева

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург

zi1ov@yandex.ru

Ключевые слова: среднесрочный гидродинамический прогноз погоды, многомодельный метод прогнозирования, комплексирование методов прогнозирования.

ВВЕДЕНИЕ

Улучшение показателей успешности выпускаемых численных прогнозов погоды возможно проводить по двум основным направлениям. Первое из них основывается на использовании новых прогностических схем, увеличении объема данных наблюдений о состоянии атмосферы, усложнении систем инициализации или согласования начальных полей давления и ветра, расширении набора физических интерпретаций процессов подсеточного масштаба [1, 2]. Второе направление связано со статистическим обобщением результатов численного прогнозирования полей метеорологических величин путем изменения технологии постобработки выходной продукции глобальных и региональных гидродинамических моделей. Настоящая работа посвящена второму из вышеназванных подходов. Ее цель заключается в обосновании выбора модели для оценки весовых коэффициентов при комплексировании результатов численного прогнозирования, полученных в основных оперативно-прогностических центрах Всемирной службы погоды (ВСП) и проведении численных экспериментов для оценки успешности применения метода комплексирования.

ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАНИИ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Идея комбинирования прогнозов, разработанных с использованием различных моделей, появилась в 70-е годы 20 столетия в экономике, а в 1976 году её впервые применил в метеорологии известный американский специалист в области численного прогнозирования погоды Ф. Томпсон. Он показал, что средняя квадратическая ошибка прогнозов, разработанных путем комбинирования выходных данных двух различных методов прогнозирования меньше, чем ошибки каждого из них в отдельности. Дальнейшее развитие метод комбинирования прогнозов получил в области долгосрочного прогнозирования и моделирования климата, а также при разработке гидрологических прогнозов расходов воды в системе «осадки-сток» по различным водным бассейнам.

В данной работе предпринята повышения успешности разрабатываемых численных прогнозов на основе комплексирования выходной продукции гидродинамического прогнозирования, в состав которой включены поля давления воздуха на уровне моря P_0 и геопотенциальных высот основных изобарических поверхностей H_{500} в рамках информационной системы, работающей в режиме реального времени и предназначенной для оперативной работы в метеорологических подразделениях.

Во всех схемах многомодельного прогнозирования оценка математического ожидания $\widetilde{M}_{\hat{x}}$ прогностических значений рассматриваемых величин находится в классе линейных функций результатов прогнозирования $\hat{x}$ с использованием уравнения

$$\widetilde{M}_{\hat{x}} = \sum_{j=1}^{n} c_j \hat{x}_j \qquad (1)$$

где n - количество схем прогнозирования, j - номер схемы, c_j - весовые коэффициенты.

Следовательно, с формальной точки зрения метод многомодельного прогнозирования можно рассматривать как частный случай обычного метода множественной регрессии. Разница в подходах к использованию формулы (1) заключается в выборе метода для определения весовых коэффициентов.

В некоторых работах для всех комплексируемых методов назначаются одинаковые коэффициенты. В других используются взвешенные коэффициенты, которые оцениваются по обучающей выборке с результатами прогнозирования на основе метода наименьших квадратов.

Отличие настоящей работы от исследователей других авторов заключается в том, что для нахождения весовых коэффициентов в ней использовалась статистическая модель неравноточных наблюдений применительно к решению задачи комплексирования результатов прогнозирования полей метеовеличин, содержащих случайные ошибки, обусловленные различными факторами [3].

Достоинством этой модели является то, что она позволяет выбрать простое аналитическое выражение для прогностической схемы, которое позволяет получать несмещенную, эффективную и состоятельную оценку для математического ожидания случайной величины.

Постановка задачи оценивания математического ожидания случайной прогностической величины $\hat{x}_j$ в рамках этой модели сводится к следующему.

Пусть характеристики точности прогноза метеорологической величины от прогноза к прогнозу изменяются так, что полученное при j-том прогнозе значение метеовеличины $\hat{x}_j$ имеет дисперсию, представленную выражением

$$D\left[\hat{x}_j\right] = D_{\hat{x}_j} = D_j = \sigma_j^2,\ j = 1(1)n\,. \tag{2}$$

При этом среднее значение прогнозируемой величины $\hat{x}_j$ от прогноза к прогнозу не изменяется и равно среднему значению прогнозируемой величины.

$$M\left[\hat{x}_j\right] = M_{\hat{x}_j} = \overline{x}_j = M_{\hat{x}},\ j = 1(1)n\,. \tag{3}$$

В данном случае оценка $\hat{\tilde{M}}$ математического ожидания прогнозируемой величины является функцией прогностической выборки, на основании которой определяются весовые коэффициенты.

$$\hat{\tilde{M}}_{\hat{x}} = \tilde{M}_{\hat{x}}\left(\hat{x}_1, \hat{x}_2, ..., \hat{x}_n\right). \tag{4}$$

Необходимо выбрать вид зависимости (4) таким, чтобы оценка $\hat{\tilde{M}}$ имела простое аналитическое выражение и была несмещенной, эффективной и состоятельной.

Будем искать оценку $\hat{M}_{\hat{x}}$ в классе линейных функций результатов прогнозирования (уравнение (1)). Решение поставленной задачи сводится к отысканию значений коэффициентов $c_j, j = 1(1)n$ линейной формы (1), при которых оценка $\hat{M}_{\hat{x}}$ будет удовлетворять трем вышеуказанным требованиям.

Теоретически доказано, что для удовлетворения этим требованиям при оценивании весовых коэффициентов c_j при комплексировании прогностических значений метеорологических величин необходимо использовать соотношение

$$c_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j}, \quad j = 1(1)n, \tag{5}$$

где введено обозначение $d_j = 1/D_j$, т.е. вес прогнозируемых значений обратно пропорционален дисперсии ошибок прогноза по каждой из моделей, включенной в прогностический многомодельный ансамбль.

Оценивание прогностического значения математической величины в этом случае должно осуществляться с использованием выражения

$$\tilde{M}_{\text{€}} = \frac{\sum_{j=1}^{n} d_j x_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j}. \tag{6}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Расчет весовых коэффициентов и оценивание возможностей применения метода многомодельного среднесрочного прогнозирования полей метеорологических величин производились для всего Северного полушария и по отдельным регионам Европы (10° з.д. —50° в.д., 35—75° с.ш.), Азии (60—140° в.д., 0—75° с.ш.), Африки (10° з. д. —50° в. д., 0—30° с. ш.), Тихого океана (150° в. д. — 140° з. д.), Северной Америки (130° в. д. - 70° з. д.), Атлантического

океана (60—20° з.д.), Приполярного района (80—90° с.ш.). Обучающие выборки включали по 102 поля давления на уровне моря и геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 гПа за период с 10 июня по 31 июля 2007 года. Контрольные выборки превышали 62 ситуации за август 2007 года. Оценка выполнялась для прогнозов заблаговременностью до 7 суток, стартующих в 00 ч UTC, полученных от следующих прогностических центров: Рединг, Брекнелл, Оффенбах и Москва. В качестве примера в таблицах 1 и 2 приводятся осредненные за август месяц 2007 г. оценки среднеквадратических ошибок прогнозов приземного давления (P_0, гПа), весовые коэффициенты, а также оценки коэффициентов корреляции тенденций в сроки 00 ч и 12 ч UTC по территории Европы между прогностическими значениями метеовеличин и результатами объективного анализа.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Анализ результатов численных экспериментов позволяет сформулировать следующие выводы:

1) применение метода комплексирования приводит к заметному улучшению оправдываемости прогнозов на сроки 3-7 суток. При этом коэффициент корреляции между прогностическими значениями барических полей и результатами анализа в среднем увеличился на 1 - 3 процента при разработке прогнозов на 3 - 4 суток и на 5 – 12 процентов при заблаговременности прогнозов на 5 – 7 суток;

2) варьирование числа моделей, включаемых в многомодельный комплекс прогнозирования, приводит к повышению успешности разрабатываемых прогнозов, если их число не превышает четырех;

3) исключение даже наихудшей модели из прогностического многомодельного ансамбля, при оптимальном количестве включенных в него моделей, приводит к ухудшению результатов прогнозирования.

Таблица 1.

Оценка среднеквадратической ошибки σ_p^* P_0 (гПа) и весовые коэффициенты c_j, Европа, август 2007 г.

Прогностичес-кие центры	Заблаговременность прогноза, ч													
	24		48		72		96		120		144		168	
	σ_p^*	c_j	σ_p^*	c_j	σ_p^*	c_j	σ_p^*	c_j	σ_p^*	c_j	σ_p^*	c_j	σ_p^*	c_j
Рединг	1,12	0,32	1,44	0,38	1,94	0,40	3,02	0,46	4,31	0,40	5,42	0,57	6,06	0,60
Оффенбах	1,35	0,25	1,93	0,23	2,70	0,22	3,81	0,25	4,73	0,27	6,17	0,43	6,44	0,40
Москва	1,59	0,17	2,58	0,12	3,77	0,11	-		-		-		-	-
Брэкнелл	1,13	0,26	1,54	0,27	2,23	0,27	3,26	0,29	4,37	0,33	-	-	-	-
Ансамбль	1,02	-	1,44	-	1,85	-	3,02	-	3,91	-	4,83	-	5,55	-

Таблица 2.

Оценка коэффициентов корреляции между фактическими и прогностическими полями P_0, Европа, август 2007 г.

Прогностические центры	Заблаговременность прогноза, ч													
	24		48		72		96		120		144		168	
	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12
Рединг	0,98	0,99	0,97	0,98	0,94	0,95	0,85	0,85	0,70	0,78	0,55	0,67	0,54	0,59
Оффенбах	0,98	0,99	0,96	0,97	0,91	0,94	0,82	0,86	0,72	0,78	0,54	0,66	0,48	0,50
Москва	0,97	0,97	0,92	0,93	0,82	0,83	-	0,71	-	0,59	-	0,50	-	-
Брэкнелл	0,99	0,99	0,97	0,98	0,94	0,96	0,86	0,89	0,74	0,80	-	-	-	-
Ансамбль	0,99	0,99	0,98	0,98	0,96	0,97	0,92	0,93	0,87	0,89	0,68	0,77	0,69	0,64

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Численные эксперименты по использованию метода многомодельного прогнозирования полей давления и геопотенциальных высот наглядно демонстрируют возможности его применения для повышения успешности разрабатываемых численных прогнозов метеорологических полей. Практическая реализация этого метода возможна в Гидрометцентре РФ, в гидромтеорологических центрах УГКС и в других оперативно-прогностических учреждениях, которые имеют доступ к базам данных, содержащих результаты выходной прогностической продукции ведущих метеорологических центров ВСП в кодах GRID и GRIB.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А.А., Фролов А.В. Гидрометцентр России на пороге нового века // 70 лет Гидрометцентру России.- СПб.: Гидрометеоиздат, 1999. С.3.
2. Методы среднесрочных прогнозов погоды // Труды международного симпозиума. Москва, 6-11 декабря 1987 г. / под ред. Г.П. Курбаткина и П.П. Васильева.- Л.: Гидрометеоиздат.- 1989. С.170.
3. Городецкий В.И., Иоффе А.Я., Морозов Л.М., Петухов Г.Б., Сидоров В.Н., Юсупов Р.М. Статистические методы в прикладной кибернетике.- МО СССР, 1980.

УДК 528.88:631.559:633

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В МОДЕЛЯХ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ ФОТОСИНТЕЗА

Т.А. Найдина

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии, г. Обнинск

t-naidina@yandex.ru

Ключевые слова: спутниковые данные, вегетационный индекс, интенсивность фотосинтеза, динамическая имитационная модель, прогнозирование, урожайность.

ВВЕДЕНИЕ

За два последних десятилетия наземные наблюдения за состоянием посевов сельскохозяйственных культур значительно пополнились спутниковыми данными. В ряде работ спутниковая информация используется в регрессионных моделях оценки состояния урожая [1, 2], методах прогнозирования урожайности по году-аналогу [3], для контроля расчетных значений в модели биопродуктивности [4].

Целью данной работы является оценка возможности использования спутниковых данных в динамических моделях прогнозирования урожайности зерновых культур, разработанных под руководством А.Н. Полевого [5].

Спутниковые данные получены со сканера MODIS (спутник TERRA). Для анализа используется вегетационный индекс NDVI. Выбор NDVI в качестве спутниковой информации обусловлен несколькими причинами:

– сканер MODIS в указанных каналах имеет высокое пространственное разрешение (250 м);

– получение и обработка NDVI осуществляется Институтом космических исследований РАН (ИКИ) на единой методологической основе;

– наличием непрерывного десятилетнего ряда наблюдений среднеобластных значений NDVI;

– возможностью получения среднеобластного NDVI в оперативном режиме для использования в прогностических моделях.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Вегетационные индексы NDVI представлены по субъектам РФ для пахотных земель и отдельно для озимых культур.

Чтобы установить связь между спутниковыми данными и наземными наблюдениями в данной работе из NDVI всей пашни ($NDVI_p$) «выделены» NDVI яровых культур ($NDVI_{jr}$) по формуле [3, 4]:

$$NDVI_{jr} = \frac{NDVI_p - NDVI_{oz} \cdot S}{1 - S}, \quad (1)$$

где S – доля площади, занимаемой озимыми культурами, в площади всех пахотных земель для конкретного года, $NDVI_{oz}$ – вегетационный индекс NDVI озимых культур.

На первом этапе была установлена связь дистанционных измерений с началом и окончанием периода вегетации сельскохозяйственных культур для территории Краснодарского края.

Построены графики связи $NDVI_p$ с датами образования наибольшей площади листовой поверхности сельскохозяйственных культур с 2001 по 2010 год. Для каждого года период максимальных значений $NDVI_p$ включает в себя даты наличия наибольшей площади листовой поверхности всех сельскохозяйственных культур (рис. 1).

На рисунке 1 видно, что NDVI пашни отражает динамику роста листовой поверхности или, другими словами, сезонный ход фотосинтеза любой сельскохозяйственной культуры, что позволяет использовать значения вегетационных индексов пахотных земель в блоке расчета фотосинтеза в динамических моделях продукционного процесса сельскохозяйственных культур [6, 7].

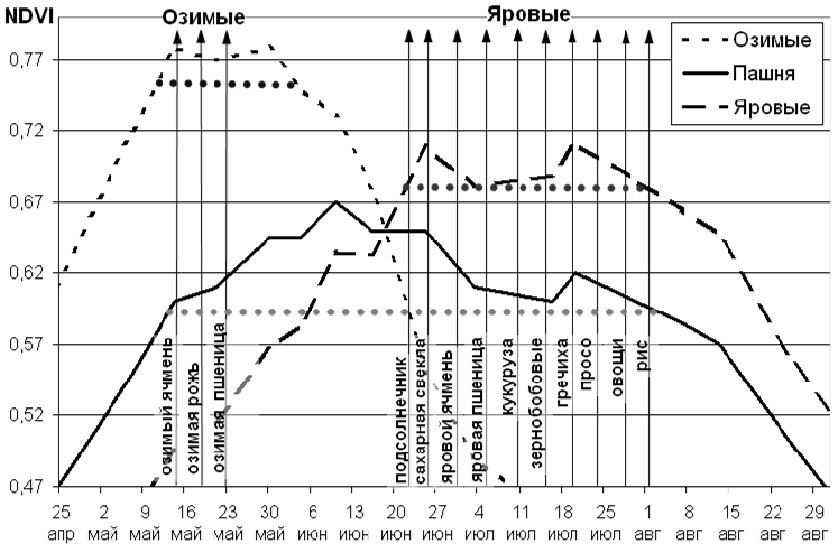


Рис. 1. Связь NDVI с датами наличия наибольшей площади листовой поверхности сельскохозяйственных культур в Краснодарском крае в 2005 году

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В МОДЕЛИ БИОПРОДУКТИВНОСТИ

Используемая базовая модель формирования урожая сельскохозяйственных культур включает количественное описание процессов фотосинтеза, дыхания и роста.

Урожайность растений в первую очередь зависит от интенсивности фотосинтеза и размеров ассимилирующей поверхности культуры в период вегетации.

Изменение фотосинтеза в онтогенезе в модели учтено через функцию, которая описывает интенсивность фотосинтеза листьев в зависимости от физиологического возраста растения. Эта функция называется «онтогенетической кривой фотосинтеза» и описывается выражением [5]:

$$\alpha^j = e^{-\ln \alpha_0 \left(\frac{\sum T - \sum T_m}{\sum T_m} \right)^2}, \qquad (2)$$

где $\sum T$ – сумма эффективных температур нарастающим итогом; $\sum T_m$ – сумма эффективных температур, при которой наблюдается максимальная интенсивность фотосинтеза листьев; α_0 – начальная интенсивность фотосинтеза по отношению к максимально возможной на начало вегетации при $\sum T = 0$.

Значения относительного показателя интенсивности фотосинтеза и NDVI близки. И, кроме того, ход NDVI лучше отражает важнейшую закономерность роста растений, а именно, ход NDVI показывает, что в начальный период темпы роста, а значит и интенсивность фотосинтеза, низкие [6, 7].

Для оценки возможности включения вегетационного индекса в уравнение для расчета интенсивности фотосинтеза была использована динамико-статистическая модель прогнозирования урожайности яровой пшеницы в Краснодарском крае, которая в настоящее время используется в оперативной работе.

Результаты использования NDVI в действующей динамико-статистической модели прогнозирования урожая яровой пшеницы в Краснодарском крае представлены в таблице.

Таблица Сравнение результатов расчета урожайности яровой пшеницы по существующей модели с использованием и без использования NDVI пахотных земель

Год	Отклонение расчетного значения урожайности от фактического значения							
	В действующей модели, ц/га		В модели с использованием NDVI, ц/га		В действующей модели, %		В модели с использованием NDVI, %	
	1 срок прогноза	2 срок прогноза	1 срок прогноза	2 срок прогноза	1 срок прогноза	2 срок прогноза	1 срок прогноза	2 срок прогноза
2001	-0,7	-0,7	1,1	1,1	6	6	10	9
2002	-2,3	-2,2	-0,9	-0,6	8	8	3	2
2003	3,7	3,7	-1,7	-1,8	27	27	13	13
2004	-1	-1	2,1	0,4	4	3	9	1
2005	-0,9	-0,9	-2	-1,5	3	3	7	5
2006	1,2	1,2	1,2	2,3	5	4	5	10
2007	-2,2	-2,2	1,9	1,6	10	5	8	7
2008	-6,7	-6,7	0	0,6	20	19	0	2
2009	-0,9	-0,9	-2,4	-1,7	3	9	9	6
Среднее	2,2	2,1	1,5	1,3	10	9	7	6

В действующей модели среднее отклонение фитомассы репродуктивных органов от фактического значения за 2001 – 2009 годы составляет 9 – 10 %. При замене значений, снятых с онтогенетической кривой фотосинтеза, ежедекадными индексами NDVI среднее отклонение от факта составило 6 – 7 %.

При использовании NDVI отклонения урожайности не превысили 13 % от фактического значения, и при этом в 2003 г. (год минимального урожая яровой пшеницы) и в 2008 г. (год максимального урожая яровой пшеницы) прогнозы стали «оправдавшимися».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ результатов использования NDVI в действующей динамико-статистической модели прогноза урожайности яровой пшеницы показал:

– величина NDVI достаточно адекватно отражает сезонный ход фотосинтеза всех сельскохозяйственных культур;

– ход NDVI хорошо согласуется с кривой интенсивности фотосинтеза;

– использование NDVI в блоке расчета фотосинтеза в действующей модели прогнозирования урожайности яровой пшеницы дало положительные результаты;

– замена теоретической кривой «сезонного хода фотосинтеза» на измеренные значения вегетационного индекса, привела к повышению оправдываемости в годы с экстремальными условиями.

Полученные результаты дают основание полагать, что вегетационный индекс NDVI может быть использован как во вновь создаваемых динамических моделях прогнозирования урожайности, так и в действующих моделях при их усовершенствовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов В.Н., Сладких Л.А. Мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности яровой пшеницы по данным ДЗЗ. Геоматика №3. 2009.

2. Huete A., Justice C., van Leeuwen W. MODIS VEGETATION INDEX (MOD13). Algorithm theoretical basis document. Verion 3. April, 1999.

3. Толпин В.А., Барталев С.А., Матвеев А.М., Лупян Е.А. Возможности анализа архивов спутниковых данных для выбора годов аналогов в системе дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель

агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК). // Сборник научных статей. М: ООО "Азбука-2000", 2009. Выпуск 6. Т. II. С.560 – 571.
4. Брыксин В.М. Разработка математической модели и программных средств оценки урожайности зерновых культур в условиях Западной Сибири: автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата техн. наук. – Барнаул, 2009. – 22 с.
5. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 320 с.
6. Найдина Т.А. Использование вегетационного индекса (NDVI) в динамических моделях прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур.// Тезисы докладов конференции молодых специалистов. – Обнинск, 2010. С. 104 – 107.
7. Найдина Т.А. Использование спутниковой информации в динамических моделях прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур.// Материалы XIV Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генерал. конструктора ракет.-космич. систем академика М.Ф. Решетнева. – Красноярск, 2010. С. 197 – 198. .

УДК 551.510.42+551.521.1+551.583

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ И ОЦЕНКА СТОИМОСТИ СОЗДАНИЯ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЬНОГО СЛОЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНЖЕНЕРИИ КЛИМАТА

А.П. Ревокатова

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

revokatova@gmail.com

Стабилизация климата, инженерия климата, геоинженеринг, метод стратосферных аэрозолей

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность вопроса стабилизации климата бесспорна. Рост атмосферной концентрации CO_2 в и другие изменения, отраженные в ряде докладов МГЭИК, - очередное доказательство этого. Для предотвращения необратимых последствий климатических изменений необходимо совокупное использование всевозможных методов. Меры Киотского протокола с каждым годом вызывают все больше сомнений, кроме того, даже их частичное выполнение будет стоить неоправданно дорого. Поэтому разработка способов целенаправленного воздействия на климатическую систему, называемых инженерией климата, представляется весьма полезной, так как эти методы могут быть востребованы уже в ближайшее время. В работах [1, 2, 3] было выполнено сравнение различных методов инженерного воздействия на климатическую систему. Сравнение показало, что с точки зрения эффективности, реализуемости в ближайшие десятилетия и минимизации затрат наиболее перспективным методом является создание в стратосфере отражающего аэрозольного слоя. Выбор оптимальной методологии предполагает учет ряда факторов: способ получения аэрозоля, способ его доставки в стратосферу, выбор оптимального района Земли и режима введения газа-предшественника, а также стоимость использования технологии. В настоящее время практические знания в области инженерии климата опираются на изучение вулканической деятельности [4, 5], поэтому определение параметров методологии может быть основано лишь на теоретических предпосылках.

ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ СЕРОСОДЕРЖАЩЕГО АЭРОЗОЛЯ В СТРАТОСФЕРЕ

Расчеты параметров взаимодействия солнечной радиации с аэрозолем показали [6, 7, 8], что для максимального отражения оптимальными могут быть аэрозольные частицы с диаметром в диапазоне 0,2 – 0,5 мкм. Создание аэрозольных частиц субмикронного размера возможно двумя путями – дроблением материала или получением частиц из газообразных предшественников. Первый путь не эффективен, поскольку при измельчении энергетические затраты растут обратно пропорционально квадрату линейного размера. Кроме того, при измельчении образуются частицы с широким спектром размеров от долей микрона до десятков микрон. Кроме того, недостатком тонкодисперсных сыпучих порошков является их высокая слипаемость, что затрудняет их рассеивание в стратосфере.

Второй путь связан с химической трансформацией газов-предшественников с образованием жидких или твердых продуктов. В этом случае в результате нуклеации, конденсации и коагуляции образуются частицы с узким диапазоном размеров в субмикронной области. Именно этот способ постоянно реализуется в природных условиях. Газообразными предшественниками в этом случае служат соединения серы, которые поступают в стратосферу либо за счет диффузии из тропосферы (диоксид серы - SO_2, сероуглерод - CS_2, карбонилсульфид - COS), либо при вулканических извержениях (диоксид серы - SO_2, сероводород - H_2S). В цепочке реакций окисления данные газы образуют серную кислоту, которая частично нейтрализуется с образованием ее солей – сульфатов. При целенаправленном создании сульфатных аэрозольных частиц наиболее реально использование двух серосодержащих газов – SO_2 и H_2S.

МЕТОДЫ ДОСТАВКИ ВЕЩЕСТВА В СТРАТОСФЕРУ

За последние два десятка лет предложено несколько способов доставки необходимого вещества в стратосферу. Некоторые варианты представляются вполне реалистичными на уровне современного технического развития, другие выглядят весьма экзотичными.

Первый детальный обзор вариантов доставки вещества аэрозольных частиц в стратосферу был сделан экспертами США в 1992 году [9]. Ими было рассмотрено четыре потенциально возможных способа: вертикальная стрельба из корабельных орудий большого калибра, использование ракет, запуск воздушных шаров с грузом и выброс части топлива самолетами коммерческой авиации в

виде субмикронных капель. Три первых из рассмотренных вариантов оказались высоко затратными. Более дешевым представился четвертый способ, но он не эффективен, поскольку практически все коммерческие полеты осуществляются ниже тропопаузы, где время жизни аэрозольных частиц весьма мало. Высказывалась также идея добавлять соединения серы в топливо. Она нереалистична по двум причинам. Первая, указанная выше – недостаточная высота коммерческих полетов. Вторая – невозможность существенного увеличения сернистости без потери необходимых свойств авиационного топлива.

В недавней работе [10] дополнительно были рассмотрены еще несколько вариантов. Так, например, возможен запуск шаров, наполненных смесью H_2S или SO_2 с водородом. Оценки показали [10], что такой метод потребовал бы около 10 миллионов запусков в год и в расчете на 1 Мт поднимаемой в стратосферу серы. В условиях Арктики, где высота тропопаузы составляет около 8 км, возможно поднятие привязного аэростата, соединенного с землей рукавом (шлангом) из тканого полимера [11]. Закачка газов на высоту установки аэростата производится с земли насосами. Экзотичным представляется проект строительства башни высотой около 20 км. Считается, что современные сооружения ограничены по высоте лишь архитектурными решениями и отсутствием необходимости строить выше. На самом деле, современная наука и техника теоретически позволяют построить башню из углеродно-эпоксидных композитов высотой более 100 км [10].

Представляется, что наиболее близким к реализации может быть вариант использования современных крупнотоннажных самолетов. Основные лимитирующие факторы при использовании самолета в целях инженерии климата – это максимальная высота, на которую он может подняться, и его грузоподъемность. В таблице 1 приведены характеристики самолетов, которые потенциально могли бы использоваться для целей инженерии климата.

Из таблицы следует, что уже в настоящее время уровень развития авиационных технологий может обеспечить потребности инженерии климата. Наиболее близкими прототипами являются самолеты-заправщики. Так, заправщик КС-135 имеет полезную нагрузку около 100 тонн и крейсерский потолок 15,2 км. Такие самолеты могут применяться в высоких и средних широтах, где высота тропопаузы не превышает 15 км. Стоимость бомбардировщиков существенно выше, что обусловлено стоимостью оборудования военного назначения, но они имеют более высокий потолок. В последних трех строчках таблицы 1 представлены самолеты, ныне не выпускаемые. Требованиям инженерии климата мог бы полностью

соответствовать советский самолет Т-4МС. Он прошел летные испытания, но серийно не выпускался.

Таблица 1. Характеристики самолетов, потенциально пригодных для использования в целях инженерии климата

Марка, страна	Тип	Полезная нагрузка, т	Рабочий потолок, км	Примерная стоимость, 10^6 USD
ИЛ-78М, Россия	Танкер	80	12	30
КС-135, США	Танкер	91	15,2	40
КС-10, США	Танкер	160	13	90
В-1В, США	Бомбардировщик	36	18	290
ТУ-160, Россия	Бомбардировщик	40	15	250
А380-800F, Airbus	Пассажирский	150	13	30
АН-225, Украина	Транспортный	247	11	20
Ту-144, СССР	Пассажирский	25	20	-
Cconcord, Фр/Англ	Пассажирский	13	19,2	-
Т-4МС, СССР	Бомбардировщик	45	23	-

По всей видимости, наиболее разумным вариантом была бы модернизация уже имеющихся самолетов-заправщиков с целью повышения их рабочей высоты за счет снижения скорости и дальности полета. Опыт такой модернизации ИЛ-76 показал, что за счет увеличения площади крыла можно значительно поднять практический потолок самолета. Кроме того, увеличение грузоподъемности и снижения стоимости (вплоть до порядка величины) возможно за счет удаления чисто военного оборудования. Самолетный вариант доставки вещества в стратосферу обладает существенными преимуществами перед ранее описанными.

ВЫБОР ГАЗА-ПРЕДШЕСТВЕННИКА

Если представить, что найдена (или создана) оптимальная модель самолета, то далее встает вопрос о виде выбрасываемого вещества и о способе его выведения непосредственно из фюзеляжа самолета. В литературе [12, 13] чаще всего в качестве предшественника аэрозольных частиц рассматривается SO_2. Как

говорилось выше, для целей инженерии климата наиболее реально использование SO_2 и H_2S. Поэтому, обоснованный выбор должен опираться на сравнение их важнейших свойств. (Таблица 2).

Таблица 2. Свойства H_2S и SO_2

Свойство	H_2S	SO_2
Молекулярная масса, г/моль	34	64
Температура кипения (при 1 атм), °С	- 60,2	- 10,1
Температура замерзания, °С	- 86	- 76
Скрытая теплота испарения (при 1 атм), Дж/кг	548	390
Токсичность (ПДК для рабочей зоны), мг/м^3	10	10

Из таблицы следует, что молекулярная масса H_2S практически в 2 раза меньше, чем SO_2. Это означает, что для доставки в стратосферу 1 тонны серы (как действующего начала образования сульфатных частиц) требуется поднять 1,063 тонны H_2S или 2 тонны SO_2. Таким образом, с точки зрения доставляемой в стратосферу массы H_2S имеет неоспоримое преимущество.

Температура кипения H_2S ниже, чем типичная для стратосферы температура (около минус 50°С). Напротив, температура кипения SO_2 существенно выше. Это означает, что H_2S может вводиться в стратосферу в виде мелких капель, которые при -50°С будут быстро испаряться. Этот вариант не приемлем для SO_2 – процесс испарения капель займет длительное время, за которое капли под действием гравитации пролетят вниз существенное расстояние.

Из таблицы 2 видно, что значения скрытой теплоты испарения относительно велики для обоих газов. Это означает, что при испарении, температура оставшейся жидкости будет снижаться. Этому же способствует значительный градиент между начальной температурой емкости и температурой стратосферы. Расчеты показали, что при начальной температуре +20°С и внешнем давлении 0,1 атм из емкости может испариться лишь 75% SO_2, после чего температура остатка достигнет точки замерзания (-76°С) и испарение практически прекратится. В случае H_2S испарение остановится, когда в емкости останется примерно 15% начального количества. Это означает, что простое испарение сжиженного газа из емкости большого объема даже в случае H_2S потребует длительного времени. Поэтому, если выброс из самолета осуществлять в виде газа, потребуется затратить дополнительную энергию на испарение жидкости. Для этого может быть использован автономный нагреватель. Мощность такого нагревателя рассчитана для

гипотетического случая, когда масса сжиженного газа составляет 50 тонн, а время испарения и выброса газа – 4 часа. В этом случае мощность должна составить 6300 кВт для H_2S и 4500 кВт для SO_2.

Оба рассматриваемых газа являются токсичными веществами. Значения предельно допустимой концентрации (ПДК) для обоих газов в воздухе рабочей зоны одинаковы, однако H_2S считается более опасным и относится к веществам II класса опасности. Следует заметить, что оба вещества широко используются в химической промышленности. Объемы их транспортировки в сжатом или сжиженном виде составляют во всем мире десятки миллионов тонн в год, поэтому в промышленности накоплен огромный опыт безопасного обращения с этими токсичными веществами.

Рассмотрение пригодности обоих газов для инженерии климата показывает, что оба газа обладают определенными достоинствами. Тем не менее, H_2S имеет несомненное преимущество, как с экономической, так и с технологической точек зрения.

СТОИМОСТЬ СТАБИЛИЗАЦИИ КЛИМАТА С ПОМОЩЬЮ СОЗДАНИЯ АЭРОЗОЛЬНОГО СЛОЯ В СТРАТОСФЕРЕ

Одним из важнейших параметров, определяющих возможность применения инженерии климата, является стоимость применения описываемой технологии. Поскольку ее использование рассчитано на многие годы, важно оценить отдельно капитальные и текущие затраты. Здесь рассмотрен вариант введения в стратосферу 2 Мт H_2S в год с помощью гипотетического самолета с разовой загрузкой 50 т. Для обеспечения работ потребуется строительство аэродрома в малонаселенной местности, создание необходимой инфраструктуры, строительство подъездных путей и т.д.

Парк самолетов при 2 вылетах в день в течение 250 дней в году должен составить 80 машин. Стоимость одного специально сконструированного самолета примем равной 40 Мд[1] (см. таблицу 1). Таким образом, капитальные затраты на парк самолетов составят 3200 Мд. Период эксплуатации самолета примем равным 10 годам. Отсюда текущие расходы на возобновление парка в длительной перспективе составят 320 Мд/год.

Стоимость строительства аэродрома можно оценить исходя из имеющихся в настоящее время проектов реконструкции старых и строительства новых аэропортов (Иваново, Омск, Саратов, Геленджик). По максимальным оценкам она составит около 330 Мд.

[1] Здесь и далее 1 Мд = 1 млн. долларов США.

Кроме того, необходимо создание специфической инфраструктуры хранения, транспортировки и заправки сжиженного газа. Стоимость такой системы можно считать равной 40 Мд. Поскольку аэродром располагается в изолированном районе, к нему должна быть подведена автомобильная и железная дороги для транспортировки сжиженного газа и других грузов. Примем длину таких подъездных путей равной 100 км. Зная примерную стоимость строительства автомобильной и железной дорог, можно оценить, что затраты на строительство подъездных путей составят 180 Мд.

В непосредственной близости от аэродрома должен быть построен поселок для 1 тысячи человек персонала, работающего вахтовым методом. Общее количество персонала, вовлеченного в деятельность системы, примем равным 2000 человек. Стоимость строительства такого поселка составит около 60 Мд.

Текущие затраты складываются из оплаты работы персонала, обслуживание самолетов, стоимости сжиженного газа и его транспортировки, обслуживание автомобильной и железной дорог. Среднюю заработную плату всего персонала можно принять равной заработной плате пилота гражданской авиации в США (135 тыс. долларов в год http://www.rhr.ru/index/jobmarket/foreign/12178,0.html). Отсюда общие текущие затраты на оплату персонала составят 270 Мд/год. По оценкам, представленным в работе [10], стоимость обслуживания одного крупнотоннажного самолета в США составляет около 4 Мд/год при годовом налете 300 часов. Если принять, что стоимость обслуживания пропорциональна годовому налету, текущие расходы на одну машину составят 28 Мд/год, а на весь парк машин – 2240 Мд/год. Это явно завышенная оценка, поскольку она включает уже учтенную выше заработную плату персонала.

Сероводород во многих производствах является либо вредной примесью, либо побочным продуктом. Например, природный газ Астраханского месторождения содержит 26% H_2S. В цепочке технологических процессов из H_2S сначала получают SO_2 и далее серную кислоту. В работе [10] приводится стоимость SO_2, равная 230 долларов за тонну в ценах 2008 г. Стоимость H_2S должна быть как минимум в 2 раза ниже, исходя из чего, принимаем значение цены H_2S равное 100 долларов за тонну. Отсюда затраты на закупку 2 Мт H_2S в год составят 200 Мд/год.

Стоимость доставки H_2S от поставщика к аэродрому зависит от вида транспорта и расстояния перевозки. По данным ОАО «РЖД» (http://www.rtarif.ru) удельная цена перевозки сжиженного H_2S цистернами на большие расстояния составляет около 1 руб/тонна*км. Если предположить, что дальность перевозки 2 Мт H_2S/год составит 3000 км, годовые затраты на транспортировку не превысят 200 Мд/год.

Итог сделанным оценкам представлен в таблице 3. Из нее следует, что капитальные затраты составят 3,8 млрд. долларов, а текущие 3,2 млрд. долларов. Необходимо учесть, что модификация существующих или изготовление новых самолетов, а также строительство аэродрома и подъездных путей займет несколько лет. Поэтому, капитальные затраты распределятся на срок 5-10 лет.

Таблица 3. Затраты на подготовку и реализацию инженерии климата с использованием технологии стратосферных аэрозолей

Капитальные затраты	10^6 USD	Текущие затраты	10^6 USD/год
Парк самолетов	3200	Замена самолетов	320
Аэродром	330	Оплата персонала	270
Система заправки газом	40	Обслуживание самолетов	2240
Подъездные пути	180	Закупка H_2S	200
Жилой поселок	60	Транспортировка H_2S	200
Итого:	3810	Итого:	3230

На первый взгляд, представленные значения необходимых затрат на стабилизацию климата могут показаться неоправданно большими. Однако, описанная выше технология решает глобальную задачу, и затраты следует соотносить со статьями расходов всего человечества. Затраты на снижение выбросов парниковых газов и на адаптацию к росту глобальной температуры могут лечь тяжелым бременем на мировую экономику. Оценено, что выполнение условий Киотского протокола обойдется в 18000 млрд. долларов. Еще большими будут затраты на адаптацию к новым климатическим условиям. По оценкам всемирного банка они могут составить 350-500 млрд. долларов за 5 лет. По сравнению с этими величинами расходы на стабилизацию климата с помощью стратосферных аэрозолей представляются ничтожными. Конечно, инженерия климата не является панацеей и не может самостоятельно решить проблемы антропогенного влияния на климатическую систему Земли. Однако она способна в некоторой степени смягчить последствия климатических изменений, и может быть использована как «экстренная» мера противодействия глобальному потеплению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю.А., Рябошапко А.Г., Петров Н.Н., 2009. Сравнительный анализ геоинженерных способов стабилизации климата. Метеорология и Гидрология, № 6, стр. 5-24.
2. Lenton T.M. and Vaughan N.E., 2009. The radiative forcing potential of different climate geoengineering options. Atmos. Chem. Phys. Discuss., vol. 9, pp. 2559-2608.
3. The Royal Society, 2009. Geoengineering the climate: Science, governance and uncertainty. ISBN: 978-0-85403-773-5, 83 p.
4. Асатуров М.Л. 1986. Влияние вулканических выбросов на стратосферный аэрозольный слой. Труды ГГИ, вып. 320, с. 38-49.
5. Pyle D.M., Beattie P.D., Bluth G.J.S. 1996. Sulphur emission to the stratosphere from explosive volcanic eruptions. Bull. Volcanol.v.57, p.663-671. doi:10.1007/s004450050119
6. Израэль Ю.А., Борзенкова И.И. и Северов Д.А., 2007. Роль стратосферных аэрозолей в сохранении современного климата. Метеорология и Гидрология, № 1, с. 5-14.
7. Rasch, P.J., Crutzen, P.J., and Coleman, D.B., 2008. Exploring the geoengineering of climate using stratospheric sulphate aerosols: The role of particle size, Geophys. Res. Lett., 35, L02809, doi:10.1029/2007GL032179.
8. Teller E., Wood L., and Hyde R., 1997. Global Warming and Ice Ages: Prospects for Physics-Based Modification of Global Change. UCRL-JC-128715, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California, USA, 20 p.
9. COSEPUP, 1992. Policy Implications of Greenhouse Warming: Mitigation, Adaptation, and the Science Base. Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming. National Academies Press, Washington, DC, 994 p.
10. Robock, A., A. Marquardt, B. Kravitz, and G. Stenchikov, 2009. Benefits, risks, and costs of stratospheric geoengineering, Geophys. Res. Lett., 36.
11. Lane L., Caldeira K., Chatfield R., and Longhoff S., 2007. Workshop Report on Managing Solar Radiation, Report NASA/CP-2007-214558, November 18-19, 2006, 40 p.
12. Будыко М.И., 1974. Метод воздействия на климат. Метеорология и Гидрология, №2, стр. 91-97.
13. Crutzen P.J., 2006. Albedo enhancement by stratospheric sulfur injection: a contribution to resolve a policy dilemma? Climate Change, v. 77, pp. 211-219.

УДК 528.88

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАЗЕМНОЙ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

А.Д. Клещенко, О.В. Савицкая

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии, г. Обнинск

mov1985@mail.ru

Ключевые слова: агрометеорологическая информация, NDVI, урожайность зерновых сельскохозяйственных культур, спутниковый мониторинг

ВВЕДЕНИЕ

В агрометеорологии и сельском хозяйстве все большее применение получает спутниковая информация. Это связано с тем, что спутниковая информация имеет ряд преимуществ по сравнению с наземной. Прежде всего - это обзорность. Спутниковая информация представляет данные по площади, что особенно важно в отдельные периоды вегетации в связи с большой пространственной изменчивостью и быстрым изменением характеристик состояния посевов[2]. Второе преимущество – использование цифровых измерений и компьютерных технологий позволяет оперативно проводить обработку любого массива данных по любой территории.

За последние годы накопился достаточный архив спутниковых изображений, позволяющий успешно использовать спутниковую информацию в различных задачах агрометеорологии в том числе и для разработки методов расчета ожидаемой урожайности сельскохозяйственных культур. Более полный учет агрометеорологических условий может быть получен, если наряду со спутниковой информацией будут использованы так же агрометеорологические факторы, оказывающие влияние на формирование и продуктивность (урожайность) сельскохозяйственных культур.

Поэтому в данной работе для решения задачи использовалась как спутниковая информация, так и агрометеорологические данные.

В качестве методов исследования использовались метод корреляционно- регрессионного анализа и метод расчета урожайности по году-аналогу, выбранному по складывающимся метеорологическим условиям и значениям спутниковых данных.

Исследования проводились для территорий трех управлений гидрометеослужбы: Северо Кавказского, Приволжского и Центральных Черноземных Областей Временной диапазон наблюдений составлял 9 лет, с 2001 по 2009 гг. В результате исследований разработана технология расчета ожидаемой урожайности.

РАСЧЕТ УРОЖАЙНОСТИ ПО РЕГРЕССИОННЫМ ЗАВИСИМОСТЯМ

На первом этапе для выбора наиболее информативных параметров рассчитывались корреляционные матрицы за период с 2001 по 2008 гг. Для их составления были использованы средние декадные характеристики основных агрометеорологических параметров и спутниковой информации, осредненные по территориям областей. Для увеличения объема выборки отдельные субъекты Российской Федерации объединялись, с учетом агроклиматической зональности для территорий каждого УГМС. В качестве агрометеорологических параметров использовались следующие данные: сумма осадков, среднесуточная температура воздуха, накопленная температура воздуха, определяемая как сумма температур за определенный период, дефицит влажности воздуха. Кроме того, использовались широко применимые в агрометеорологии для оценки увлажнения значения гидротермического коэффициента (ГТК), рассчитывающиеся по следующей формуле:

$$ГТК = \frac{\sum P}{0.1\sum T}, \qquad (1)$$

где $\sum P$ - сумма осадков за соответствующий период (мм);

$\sum T$ -сумма температур за тот же период.

Спутниковые данные предоставленные Институтом Космических Исследований, представляли собой спектрометрические измерения системы MODIS. По результатам спутникового

зондирования рассчитывался вегетационный индекс (NDVI) по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

где *RED, NIR* – отражательная способность подстилающей поверхности соответственно в красном (0,63-0,69 мкм) и ближнем инфракрасном (0,775-0,90 мкм) диапазонах электромагнитного спектра.

Этот показатель достаточно тесно коррелирует с такими характеристиками посевов, как биомасса, площадь листовой поверхности, густота и др. [1].

Так же для исследования использовались накопленные значения NDVI, рассчитанные как сумма значений NDVI за определенный период.

Для всех указанных субъектов РФ были построены ежедекадные корреляционные матрицы за вегетационный период. В таблице 1 представлена корреляционная матрица для Северо-Кавказского УГМС для первой декады мая.

Анализ коэффициентов корреляции позволил выделить агрометеорологические и спутниковые данные, наиболее коррелируемые с урожайностью и включить их в прогностические уравнения для определения ожидаемой урожайности. Были построены уравнения статистической зависимости урожайности зерновых культур от выбранных агрометеорологических параметров и спутниковой информации, которые позволяют проводить оценку урожайности подекадно для территории указанных субъектов Российской Федерации. В целом, все уравнения успешно прошли проверку на значимость и устойчивость по критерию Фишера и по критерию Стьюдента.

В таблице 2 представлены уравнения зависимости урожайности озимой пшеницы от NDVI и ГТК для Волгоградской, Ростовской областей и Ставропольского края Северо-Кавказского УГМС за период с 2001 по 2008 гг.

Полученные зависимости проверялись на независимом материале по данным 2009 года, которые не вошли объем наблюдений, по которым рассчитывались уравнения. Были рассчитаны значения

урожайности за 2009 год для всех УГМС. В качестве примера представлены результаты проверки урожайности озимой пшеницы за 2009 год по среднеобластным значениям NDVI и дефицита влажности воздуха для областей Приволжского УГМС (табл. 3).

Из таблицы видно, что рассчитанные значения урожайности близки к фактическим. Отклонение между фактической и расчетной урожайностью озимой пшеницы для большинства областей колеблется в пределах 10%, что позволяет использовать полученные зависимости на территории Приволжского УГМС для ежедекадной оценки условий формирования урожайности озимой пшеницы. В целом, для всех УГМС, наблюдается достаточно хорошее совпадение рассчитанной урожайности и фактической.

Учитывая статистический характер полученных уравнений по мере получения новых данных, эти зависимости представляется целесообразным ежегодно обновлять с привлечением данных расчетного года.

Таблица 1 - Корреляционная матрица для 1 декады мая, для Северо-Кавказского УГМС

	Осадки	Тем-ра	Накопл. Т	Дефицит	Нак. ГТК	NDVI	Нак NDVI	Озим. пшеница
Осадки	1.00							
Тем-ра	-0.30	1.00						
Накопл. Т *	0.30	0.47	1.00					
Дефицит	-0.74	0.47	-0.35	1.00				
Нак. ГТК *	0.78	-0.19	0.36	-0.81	1.00			
NDVI	0.47	-0.23	0.35	-0.54	0.59	1.00		
Нак NDVI*	0.45	-0.27	0.31	-0.56	0.56	0.98	1.00	
Озим. пшеница	0.42	0.03	0.55	-0.47	0.54	0.86	0.85	1.00

* Накопленный параметр - это последовательная сумма декадных значений параметра за определенный период.

Таблица 2 – Уравнения зависимости урожайности озимой пшеницы от NDVI и ГТК для Волгоградской, Ростовской областей и Ставропольского края

Номер декады	Уравнения регрессии	Коэффициент множественной корреляции
3 декада апреля	Y= 2,32+ 0,53·Σ ГТК+59,64·NDVI	0,83
1 декада мая	Y= -0,2 + 0,35·Σ ГТК+58,12·NDVI	0,86
2 декада мая	Y= -3,29 + 0,59 Σ ГТК+56,56·NDVI	0,83
3 декада мая	Y= -4,92 + 0,96 Σ ГТК+54,48·NDVI	0,79
1 декада июня	Y= -5,76 + 1,08 Σ ГТК+52,26·NDVI	0,79
Примечание: Y – урожайность озимой пшеницы, Σ ГТК – значение накопленного ГТК со второй декады апреля, NDVI – значение вегетационного индекса		

ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ ПО ГОДУ-АНАЛОГУ ПО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

Ввиду ограниченности выборки из-за недостаточной продолжительности работы MODIS, не для всех субъектов РФ получены такие зависимости. Для этих случаев был разработан метод, основанный на годе-аналоге по метеорологическим условиям с корректировкой по значениям NDVI, полученным за рассматриваемый период.

Предлагается следующий алгоритм расчета урожайности по году-аналогу, состоящий из трех этапов:

1) на первом этапе на основе анализа складывающихся погодных условий, по значениям гидротермического коэффициента определяется тип метеорологических условий в виде трех градаций:

- неблагоприятные условия;
- средние условия;
- оптимальные условия.

2) на втором этапе определяется значение ожидаемой урожайности в соответствии с выбранным типом метеорологических условий. Предполагается, что при неблагоприятных условиях для расчета ожидаемой урожайности выбирается минимальная урожайность из рассматриваемого временного ряда; при средних условиях урожайности выбирается средняя урожайность из рассматриваемого временного ряда; а при оптимальных условиях выбирается максимальная урожайность из рассматриваемого временного ряда.

3) третий этап включает корректировку значений урожайности на основе спутниковой информации по соотношению текущего значения NDVI с максимальным, минимальным или средним из рассматриваемого ряда.

Данный метод позволяет проводить расчеты ожидаемой урожайности по тем субъектам, где пока не получены соответствующие регрессионные зависимости.

Был произведен расчет урожайности зерновых культур для указанных УГМС за 2009 год. Значения рассчитанной и фактической урожайности оказались достаточно близки, в среднем ошибка расчета не превышает 10%.

Таблица 3 – Сравнение фактической и рассчитанной урожайностей озимой пшеницы за 2009 год для Приволжского УГМС

Номер декады	Расчет	Урожайность по областям, ц/га				
		Ульяновская	Пензенская	Самарская	Саратовская	Оренбургская
2 декада мая	Рассчитанная урожайность	20,06	19,36	17,76	18,32	17,09
	Отклонение	1,94	2,64	-0,79	-1,92	1,41
3 декада мая	Рассчитанная урожайность	20,97	19,93	16,84	16,97	15,62
	Отклонение	1,03	2,07	0,16	-0,57	2,88
Фактическая урожайность		22,0	22,0	17,0	16,4	18,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований были получены следующие результаты:

– Разработаны уравнения зависимости урожайности зерновых культур от NDVI и агрометеорологических параметров.

– Проведена оценка устойчивости работы уравнений.

– Разработан метод расчета ожидаемой урожайности зерновых культур по методу года - аналога с учетом складывающихся метеорологических условий и корректировкой значений по NDVI.

Проведенные исследования позволили разработать технологию оперативного расчета ожидаемой урожайности зерновых культур, которая будет использована во ВНИИСХМ и УГМС Росгидромета при оперативном обеспечении сельского хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клещенко А.Д., Вирченко О.В. Современные системы агрометеорологического мониторинга на основе спутниковой информации и возможности использования спутниковой информации для решения практических задач, включая потребности агрострахования: отчет о НИР/ Гос. Учрежд. «Всерос. науч.-исслед. ин-т сельскохозяйственной метеорологии» ; рук. Клещенко А. Д., – Обнинск, 2007. – 84 с.

2. Клещенко А.Д. Дистанционные методы исследования агрометеорологических объектов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986, - 251 с.

УДК 551.583

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КЛИМАТА ЕВРОПЫ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Р.С. Салугашвили

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

ruslan@meteo.ru

Ключевые слова: Гольфстрим, колебания климата, объективная классификация, Атлантика, районирование.

ВВЕДЕНИЕ

Со второй половины двадцатого столетия началось значительное повышение средней глобальной температуры, которое большинство ученых связывают с антропогенным усилением парниковых газов. Факт глобального потепления, общепризнан, но недостаточно ясным остается причина происходящего. Неоднозначными являются изменения климата на региональном уровне. Действительно, на фоне глобального повышения температуры, на региональном уровне встречаются аномалии разного знака и их величины значительно больше. Возможно, правильнее говорить не о глобальном потеплении, а глобальных изменениях климата, так как интенсивность и знак изменения климата, в разных регионах различны. Климатическая система - это сложная саморегулирующаяся система, с большим количеством компонентов и обратных связей. Необходимо учитывать наряду с антропогенным фактором, также и естественные факторы колебаний климата как следствие процессов взаимодействий внутри климатической системы [1]. На региональный климат огромное влияние оказывает океан. В работе была сделана попытка оценить, как колебания климата на территории Европы связаны с изменениями температуры поверхности воды в Северной Атлантике.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

В работе использовались данные среднегодовых значений аномалий приповерхностной температуры воздуха над сушей и температура поверхности мирового океана (HadCRUT3 - Griddedmonthlytemperatureshttp://hadobs.metoffice.com/hadcrut3) [3] в узлах географической сетки 5×5 градусов, а также данные с метеорологических станций в пределах первого естественного синоптического района (ЕСР). Предварительно было проведено районирование территории первого ЕСР, с помощью метода объективной классификации. Весь анализ проводился по рядам среднегодовых значений температуры воздуха за 1966-2009 годы на метеорологических станциях. Данные по станциям России взяты из фондов ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». По зарубежным станциям данные взяты с официального сайта NCDChttp://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html (версия 2). По территории зарубежной Европы список станций расширен данными с Европейского сайта http://eca.knmi.nl/.

Суть метода объективной классификации, заключается в выделении районов с однотипными отклонениями от линейного тренда многолетнего хода температуры, основываясь на анализе пространственных корреляционных связей.

ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Изменения средней глобальной температуры в 20 столетии неоднородно по территории Земли, особенно в северном полушарии. Интенсивность изменений в северном полушарии сильно отличается по регионам. Согласно работе [1] на территории северного полушария Земли в последнее десятилетие, особенно в последние 6 лет, весьма вероятно наметилась тенденция к похолоданию климата. Появились обширные территории с отрицательными трендами температуры. Но для территории Европы, характерно усиление положительного тренда. Известно, что на формирование климата Европы оказывают влияние теплые воды течения Гольфстрим. Необходимо оценить это влияние на основе всей имеющейся информации и описать пространственные особенности корреляционных связей между региональными колебаниями климата Атлантики и ЕСР.

Исследование проводилось по обобщенным временным рядам по климатическим районам на территории ЕСР. Районирование проводилось с помощью метода объективной классификации. На указанной территории было выделено 15 районов с однотипными колебаниями климата. Методика районирования описана в [2]. На

рис. 1. показаны результаты районирования. Каждому типу колебаний соответствует свой значок на карте и номер района, указанный в легенде. Станции с однотипными колебаниями климата, помеченные на карте одинаковыми значками, показывают границы климатических районов. В легенде также указано количество станций в каждом районе.

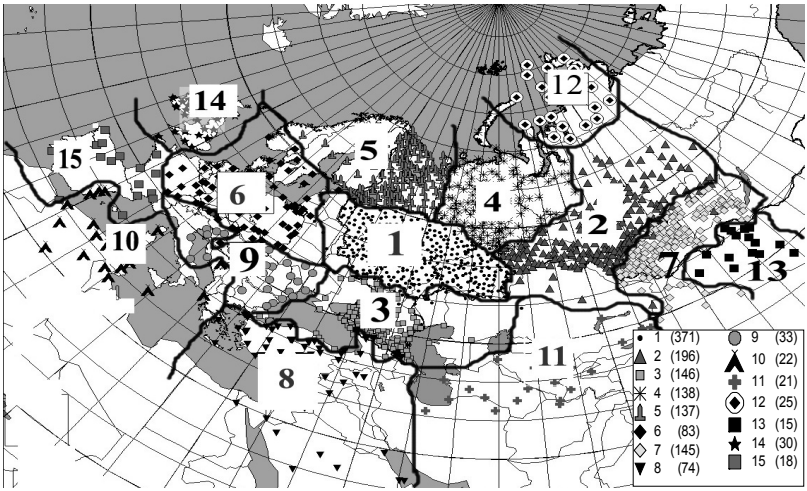


Рис. 1. Районирование первого ЕСР по колебаниям климата

По каждому климатическому району был получен осредненный ряд многолетнего хода среднегодовой температуры воздуха путем осреднения рядов всех станций района.

ЕСР – это по определению часть Евразии, находящаяся под влиянием Атлантики. Ставилась задача выявления районов океана, оказывающих влияние на климат того или иного района ЕСР. Для дальнейшего рассмотрения взяты два наиболее типичных района Европы - первый и шестой. Первый район охватывает территорию средних широт Европейской территории России, и южный Урал. А шестой район – умеренные широты Европы от побережья Атлантического океана до границ России, в долготном диапазоне от Гринвича до 25 °в.д. Между осредненным многолетним ходом температуры в первом климатическом районе и многолетним ходом температуры поверхности океана в каждом узле географической сетки 5х5 градусов вычислены коэффициенты корреляции. Получено поле корреляций температуры воздуха на континенте в первом районе с температурой поверхности океана. Аналогичная работа была

проделана с шестым климатическим районом. На рис. 2 показаны коэффициенты корреляции температуры первого района с температурой поверхности воды в Атлантическом океане. В легенде на рис. 2 указаны белым цветом отрицательные корреляции, а различные градации серого – это положительные корреляции. Из рис. 2 видно, что область положительных корреляций примерно совпадает с осью движения Гольфстрим, начиная от Мексиканского залива и до Баренцева моря.

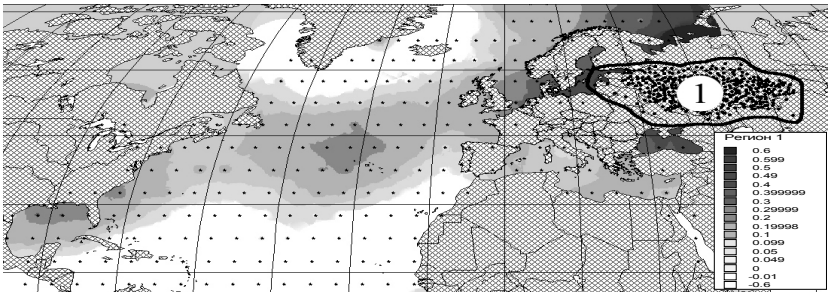


Рис. 2. Коэффициент корреляции колебания аномалий температуры 1 района с температурой поверхности воды в узлах сетки в океане

Значения коэффициентов корреляции составляют 0.2 – 0.3 вблизи Северной Америки и в центральной части океана вблизи Азорских островов. Наибольшие коэффициенты корреляции 0.4 - 0.6 наблюдаются в Баренцевом и Балтийском морях. Это еще раз подтверждает огромное влияние Гольфстрима на климат Европы.

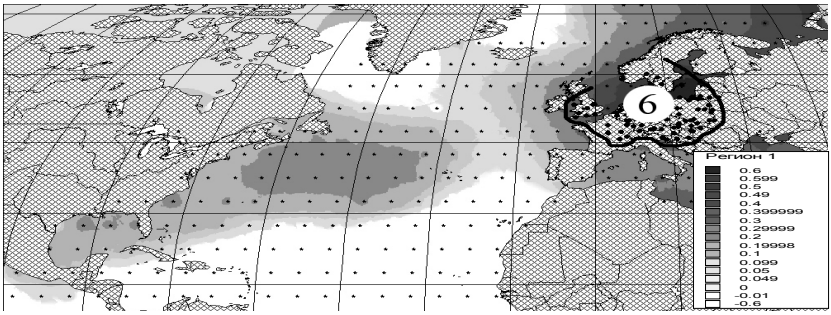


Рис. 3. Коэффициент корреляции колебаний аномалий температуры 6 района с температурой поверхности воды в узлах сетки в океане

Влияние Атлантики на климат шестого района показано на карте корреляций (рис. 3). Колебания климата в шестом районе тоже находятся в зависимости от колебаний климата в зоне Гольфстрима с небольшими региональными отличиями. Шестой район лежит на континенте западнее первого района и соответственно повышенные коэффициенты корреляции его температуры с температурой в Атлантике обнаруживаются с более западным районом Атлантического океана (западнее Азорских островов).

На рис 4. показано для сравнения многолетний ход температуры в первом районе и в двух узлах географической сетки на территории Балтийского и Баренцева морей. В Баренцевом море в узле с координатами 67.5 с.ш , 42.5 в.д, коэффициент корреляции 0.69., в Балтийском море в узле с координатами 57.5 с.ш и 17.5 в.д. коэффициент корреляции 0.48.

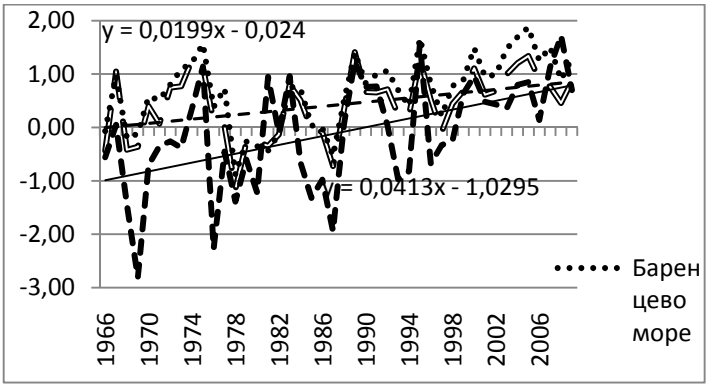


Рис. 4. Аномалии температуры воздуха 1 района и температура поверхности воды Балтийском и Баренцевом морях

На графике видно, что тренд за рассматриваемый период составляет около 0.8°С, для океана и 1.66 °С для первого района тогда как короткопериодные колебания, могут достигать 3-4 градусов. Наиболее хорошо заметна корреляция температуры рядов температуры первого района и температуры в данных узлах, с конца 80-ых годов, этот момент совпадает с началом наиболее интенсивного глобального потепления климата.

Как было сказано выше, далекие от ЕСР области океана тоже оказывают заметное влияние на температуру воздуха на континенте. На рис. 5 показан многолетний ход температуры в первом климатическом районе ЕСР и температуры поверхности океана вблизи

Азорских островов. Заметная положительная корреляция температуры над континентом с удаленным районом в океане показывает наличие дальних связей в климатической системе.

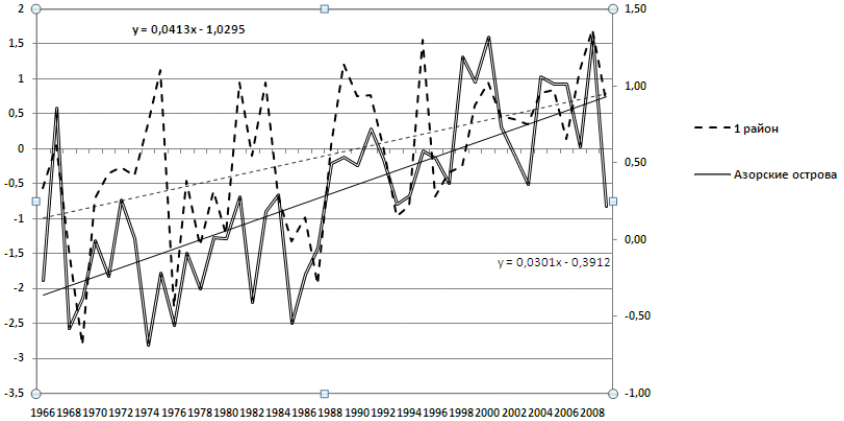


Рис. 5. Аномалии температуры воздуха 1 района и температура поверхности воды вблизи Азорских островов

ВЫВОДЫ

На фоне глобального потепления климата наблюдаются колебания климата естественного происхождения. Тренд изменений температуры за последние 2 десятилетия составляет около 1° С, а короткопериодные колебания могут достигать 3-4 градусов. Тренд за весь рассматриваемый период также меньше короткопериодных колебаний, на данном интервале лет. Причем в океане тренд значительно меньше чем на суше.

Колебания климата на территории ЕСР связаны с изменениями температуры Атлантики в зоне Гольфстрима, от Мексиканского залива до Балтийского и Баренцева моря.

Наилучшие корреляции обнаружены между температурой воздуха в ЕСР и температурой в Балтийском и Баренцевом морях, а также – температурой Атлантики западнее или вблизи Азорских островов. В Атлантике – это районы естественных препятствий для глубинных течений вблизи западного склона подводного Северо-Атлантического хребта или подводных склонов вблизи о. Ньюфаундленд.

Изменения температуры Атлантики вызывают естественные колебания климата в различных частях ЕСР по величине

превосходящие трендовые изменения климата, которые принято считать результатом антропогенных воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шерстюков Б.Г, Салугашвили Р.С Новые тенденции в изменениях климата Северного полушария Земли в последнее десятилетие. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», вып.175,2010, с.43-51.
2. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Изд. ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008, 246с.
3. P. Brohan, J.J. Kennedy, I. Harris, S.F.B. Tettand P.D. Jones, Uncertainty estimates inregional and global observed temperature changes: a new data set from 1850. J. Geophys. Res, 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548.

УДК 551.576

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РОСТА ГРАДА В НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

А.Б. Хучунаев

Высокогорный геофизический институт, г Нальчик

lvloNGoL@mail.ru

Ключевые слова: облачная камера, концентрация кристаллов, реагент, лабораторное моделирование, водность, крупа, град.

ВВЕДЕНИЕ

Воздействие на атмосферные процессы для уменьшения ущерба от опасных явлений погоды и обеспечения благоприятных условий для человека является одной из актуальных задач метеорологии. Однако энергия атмосферных процессов столь велика, что использование прямых методов ее разрушения экономически не выгодна и опасна для человечества. Поэтому основной принцип, который реализуется при активных воздействиях, это нахождение таких моментов в развитии облака, воздействия на которое с меньшими энергетическими затратами приведет к существенным изменениям его характеристик. Таким моментов в образовании града является начальная стадия его развития. Поэтому используемый на практике метод активных воздействий на градовые процессы основан на ускорении процесса осадкообразования в начальной стадии его роста. Предполагается, что создание определенной концентрации (10^5-10^7частиц на $м^{-3}$) льдообразующих ядер в некоторых зонах облака приведет к ускорению процессов осадкообразования. В дальнейшем скорость установившегося падения частиц растущих осадков превысит скорость восходящих потоков, и они начнут падать через восходящий поток, это приведет к разрушению облака. Однако, процессы происходящие в градовых облаках в начальной стадии образования осадков не достаточно изучены. Нет экспериментальных данных о зависимости скорости роста града от концентрации искусственно созданных кристаллов льда и характеристик облака. Данные,

полученные на основе численных моделей недостаточно точны для практического использования.

В связи с этим исследования процессов, происходящих в начальной стадии роста града, которому посвящена данная работа имеют как научный, так и практический интерес. Для исследования начальной стадии роста града использовалась аппаратура и методика, которая описана в работе [1].

ПРОГРАММА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ РОСТА ГРАДА

Прежде чем перейти к последовательности проведения лабораторного моделирования, определим параметр, характеризирующий рост града и факторы, которые будут влиять на выбранный параметр. Более полной количественной характеристикой цели работы является скорость роста массы градин в начальной стадии его образования, поэтому ее следует рассматривать как основной параметр оптимизации. Факторами которые влияют на скорость роста массы очевидно будут температура (t), концентрация кристаллов(N), размер кристаллов, водность в камере (G), заряд кристаллов(q).

Для корректного лабораторного моделирования факторы, влияющие на процесс необходимо устанавливать и поддерживать на заданном уровне в течение всего эксперимента. В нашем случае температуру в камере можно поддерживать в температурном диапазоне от 0 до -17^{o}C, концентрацией кристаллов можно управлять, дозируя массу реагента. Водность можно контролировать и управлять аппаратурой для измерения и управления водностью. Размер кристаллов контролируется, но не управляется, а заряд кристаллов не контролируется и не управляется. Проведение предварительных экспериментов показало, что при концентрациях частиц 10^{4}-10^{8} $м^{-3}$ между N, t и G имеется значительная корреляционная связь. Поэтому управление размером кристаллов, возможно, вычислить по концентрации и водности. Таким образом, разработанный комплекс аппаратуры позволяет контролировать и управлять основными факторами, которые влияют на скорость роста града в начальной стадии его образования.

Последовательность проведения эксперимента заключается в следующем. Сначала в охлажденную до нужной температуры камеру запускают водяной пар до заданной водности. Производят возгонку реагента в камере. После воздействия включают аэродинамическую трубу.

Параллельно производят измерение водности. Открывают крышки подложек для забора проб кристаллов. Для завершения

эксперимента выключают вентилятор аэродинамической трубы, выросшие частицы падают на подложку с трансформаторным маслом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ РОСТА ГРАДА

В качестве реагента был использован AgJ и кристаллогидраты йодида калия. Анализы результатов экспериментов показали, что в пределах ошибок измерения состав реагента не влияет на скорость роста частиц льда.

Во время проведения экспериментов за движением частиц льда в аэродинамической трубе наблюдали на экране монитора. Частицы росли, поднимаясь и опускаясь в центральной части аэродинамической трубы.

Один из фрагментов движения частиц льда во время роста показан на рисунке 1.

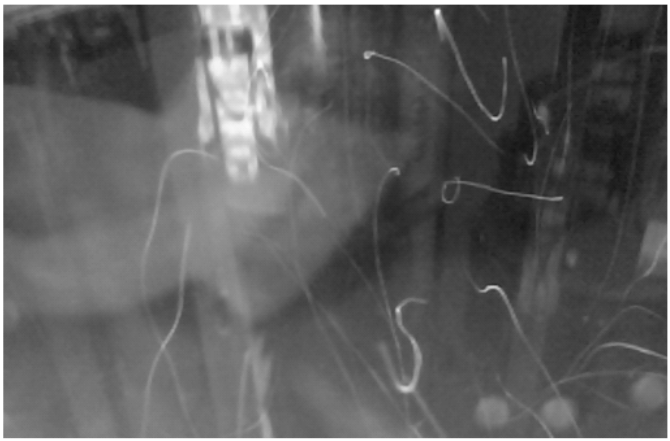


Рис. 1 Фрагмент движения растущих частиц льда в аэродинамической трубе

На рис. 1 приведена фотография частиц, которые росли только в аэродинамической трубе, по форме и по структуре они похожи на крупяные зародыши естественных градин. Также встречаются сферические и конические формы с преобладанием количества конических форм.

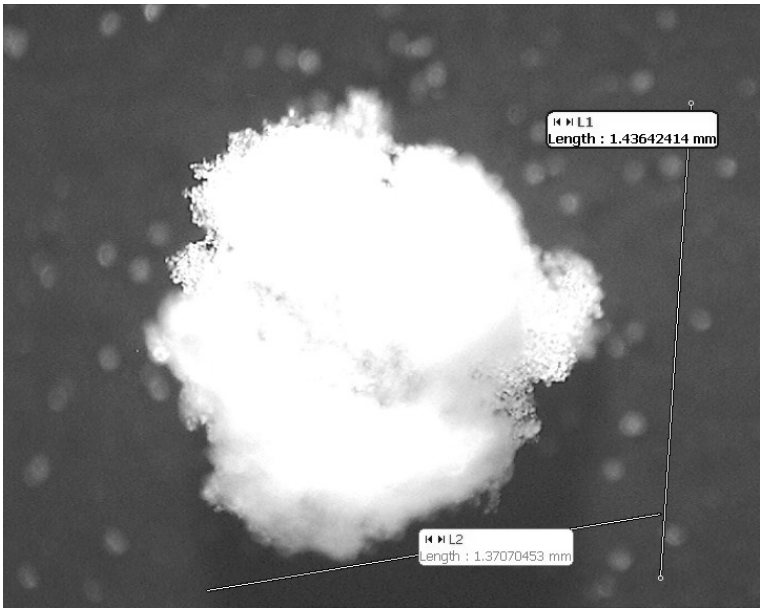


Рис. 2 Искусственная крупа

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали, что в начальной стадии образования градин наблюдается два режима роста:

- первый рост ледяных частиц происходит за счет диффузии водяного пара, при этом образуется ледяные частицы с плотностью от 0,9 до 0,97 г/см^3;

- второй рост ледяных частиц происходит в результате агрегации кристаллов, при этом образуются ледяные частицы с плотностью 0,2 до 0,6 г/см^3

Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что:

- средняя скорость роста градин в температурном диапазоне от -4 ÷ -6 ^{0}C составляет 0,26 мг/с, в температурном диапазоне -6 ÷ -8 ^{0}C – 0,19 мг/с, в температурном диапазоне -8 ÷ -10 ^{0}C – 0,14 мг/с.

- при увеличении концентрации кристаллов в камере с 10^7 м$^{-3}$ до 10^8 м$^{-3}$ происходит увеличение скорости роста града в среднем на 7%.

- при увеличении температуры в камере с -8 ^{0}C до -4 ^{0}C скорость роста массы градин увеличивается на 27%, т.е. увеличение скорости роста градин начальной стадии образования града легче

добиться с использованием реагентов с более высоким порогом льдообразования.

-значительное увеличение скорости роста града происходит при поступательно-вращательном движении воздушного потока в аэродинамической трубе. Предварительные эксперименты показывают, что при вращении воздушного потока со скоростью 3-4 м/с при температуре -3 ÷ -7 ^{0}C и концентрации кристаллов 10^7 – 10^8 м$^{-3}$ образование крупы миллиметровых размеров происходит в течение нескольких десятков секунд. Поступательно-вращательное движение воздушного потока достигали ограничением поступления воздуха с нижней части аэродинамической трубы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хучунаев Б.М., Хучунаев А.Б.//Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2010. №4. с.64.

УДК 551.576

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЬДООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОГИДРАТОВ

А.Б. Хучунаев

Высокогорный геофизический институт, г Нальчик

lvloNGoL@mail.ru

Ключевые слова: льдообразующие ядра, кристаллогидраты, концентрация кристаллов, реагент, лабораторное моделирование, водность, температура.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время с целью управления облачными процессами широко используются различные кристаллизирующие реагенты. Несмотря на это, разработка высокоэффективных реагентов до сих пор остается актуальной задачей. Это связано с тем, что для практики активных воздействий на облачные процессы требуются реагенты с более высоким температурным порогом кристаллизации и большим выходом льдообразующих ядер. Увеличение температурного порога кристаллизации и удельного выхода кристаллов позволяет расширить количество объектов, на которые можно успешно воздействовать, и уменьшить количество средств воздействия необходимые для успешного воздействия.

Целью данной работы является исследование льдообразующих свойств кристаллогидратов.

Кристаллогидраты - твердые вещества, образующиеся при гидратации простых веществ, а также солей, кислот, оснований и органических соединений. В них на 1 молекулу вещества может приходиться до 12 молекул воды. Вода, входящая в состав кристаллогидратов, называется кристаллизационной. Кристаллогидраты ведут себя как химические индивидуальные вещества.

Для исследования льдообразующих свойств кристаллогидратов был использован комплекс специальной аппаратуры: это большая облачная камера, устройство для возгонки кристаллогидратов, устройство для отбора проб и подсчета кристаллов, проточный ультрамикроскоп.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Некоторая часть аппаратуры, которая использовалась для исследования льдообразующей активности реагентов описана в ранних работах[1], потому здесь на них не будем останавливаться.

АППАРАТУРА ДЛЯ ВОЗГОНКИ КРИСТАЛЛОГИДРАТОВ

Для возгонки кристаллогидратов готовился 0,5% водный раствор исследуемого вещества. Капля раствора пипеткой наносилась на спираль из нихрома. Затем производилась сушка спирали при температуре 50^0C в течение 20 минут. Массу кристаллогидрата, которая осаждалась на спирали, определяли как разность массы спирали до нанесения капли раствора и после сушки. Для повышения точности определения массы одновременно взвешивалось двадцать спиралей. После сушки спираль присоединяли к источнику тока и вводили в большую облачную камеру, подавалось напряжение, и происходила возгонка вещества из спирали.

МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ЛЕДЯНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Определение льдообразующей активности реагентов связано с подсчетом ледяных кристаллов, выпадающих на дно камеры при введении в переохлажденный пар определенного количества льдообразующего реагента в виде аэрозоля.

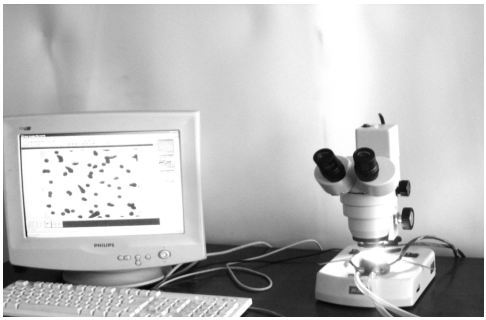


Рис. 1 - Аппаратура для регистрации ледяных кристаллов

Ледяные кристаллы подсчитываются с помощью автоматизированной системы (рис. 1), которая состоит из оптического микроскопа с видеокамерой, термостолика, персонального компьютера и программного обеспечения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Нами была исследована льдообразующая активность кристаллогидратов трех веществ: это иодид калия, хлористый кальций, лимонная кислота.

Водные растворы веществ возгонялись в облачной камере выше описанным способом. Физические процессы, происходящие при возгонке кристаллогидратов, не достаточно изучены. В общем, принято, что при возгонке любого вещества происходит разрушение кристаллической структуры и образование пара, затем происходит обратный процесс: конденсация, коагуляция, образование кристаллов. При исследовании льдообразующих свойств кристаллогидратов важным является выяснение того, что образуется после возгонки. В природе возможны образования кристаллогидратов или кристаллов растворенного вещества, или того и другого вместе. Необходимо отметить, если при возгонке структура кристаллогидратов вещества полностью разрушается, а потом вновь образуется путем присоединения молекул воды, то можно предположить, что возгонка кристаллогидратообразующего вещества в присутствии паров воды приведет к образованию кристаллогидратов. Если эксперимент провести в камере при отрицательных температурах, то на кристаллогидратах будут расти кристаллы льда, их можно измерять вышеописанной аппаратурой. На первом этапе нами были проведены эксперименты по возгонке йодида калия, хлористого кальция и лимонной кислоты в облачной камере с водяным паром с водностью 0,6г/м^3 и температурой -10^{0}С. Концентрация кристаллов льда на подложках не превышала фоновых значений. Следовательно, при возгонке кристаллогидратообразующих веществ в водяной пар образование кристаллогидратов не происходит.

Концентрация кристаллогидратов оценивалась при помощи проточного ультрамикроскопа и составила для йодида калия и хлористого кальция 10^{15} -10^{16} частиц с грамма вещества. Для лимонной кислоты 10^{14}-10^{15} частиц с грамма вещества.

На рис. 2 приведен удельный выход кристаллов из пиротехнических составов с различным содержанием AgJ 1,2,3,4,5 (данным [2]) и из кристаллогидратов KJ 6 (по нашим данным). Как видно из рисунка при температурах -5^{0}С удельный выход льдообразующих ядер с кристаллогидратов KJ на три порядка выше, чем у пиротехнического состава с содержанием AgJ - 4%. Результаты проведенных исследований показали, что некоторые кристаллогидраты обладают высокими льдообразующими свойствами.

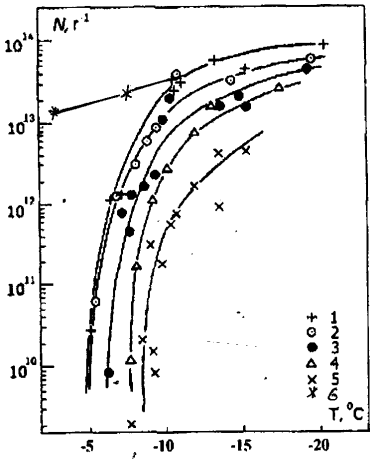


Рис. 2. Удельный выход кристаллов 1,2,3,4,5, по данным [2] (для пиротехнического состава с содержанием AgJ 1-4%, 2-2%, 3-0,4%, 4-1%, 5-0,2%), 6- по нашим данным (для кристаллогидратов KJ)

Вопросы, связанные с физическими процессами при возгонке кристаллогидратов не до конца понятны, скорее всего, при возгонке полное разрушение кристаллогидратов не происходит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования льдообразующей активности показали, что температурный порог кристаллизации у всех трех реагентов находятся в пределах -2^0C – -3^0C. Удельный выход льдообразующих ядер при температурах -3^0C -10^0C изменялся для кристаллогидратов: йодида калия с $2x10^{13}$до $8x10^{13}$, хлористого кальция 10^{12}до$7x10^{13}$, лимонной кислоты 10^{11}до$3x10^{11}$с грамма реагента.

Отличительной особенностью кристаллогидратов являются: высокий порог льдообразования, слабая температурная зависимость удельного выхода льдообразующих ядер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилин А.Г. Нуклеация льда на аэрозолях в присутствии загрязняющих веществ: дис., канд. физико-математических наук, Нальчик, 2006.
2. Тлисов М.И., Хучунаев Б.М., Шаповалов А.В.// Известие высших учебных заведений Северо-Кавказский регион, 2009. № 2. С. 65.

ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 504.054

УРОВНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ВОДООХРАННЫХ ЗОН ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ТЕРРИТОРИИ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.В. Андриянова, Е.А. Королева

Нижегородский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями, г. Нижний Новгород

eltonskay@mail.ru

Ключевые слова: водоохранная зона, загрязняющие вещества, стойкие органические загрязняющие вещества, почва, мониторинг, Чебоксарское водохранилище, модель транспорта веществ

Почва, как объект мониторинга, проявляет свойства мощного сорбента, накапливающего продукты техногенных процессов. В результате, почва является объективным и стабильным индикатором антропогенного воздействия на окружающую среду.

В данной работе рассматриваются вопросы комплексного мониторинга окружающей среды на примере г. Дзержинск Нижегородской области, расположенного на р. Оке. В г. Дзержинске, где преобладают предприятия химической промышленности, промышленная зона занимает территории восточнее и западнее жилой зоны. Результаты мониторинга загрязнения почв города свидетельствуют о том, что несмотря на преобладающий юго-западный ветер, зоны повышенного загрязнения формируются южнее предприятий в соответствии с местной циркуляцией воздушных потоков, которые затягиваются в долину р. Оки, протекающей по южной окраине города.

По данным ЦМС ГУ «Нижегородский ЦГМС-Р» почвы г. Дзержинска относятся к дерновоподзолистым. Механический состав представлен как песчаными и супесчаными (74%), так и суглинистыми (26%) почвами. pH солевой вытяжки варьирует в пределах от близкой к кислой до нейтральной среды.

По сравнению с фоновыми значениями (по средним показателям) приоритетными загрязняющими веществами являются ртуть (4ф), цинк (1,5ф) и медь (1,4ф). Содержание ртути в отдельных пробах достигает 27ф, меди 19ф, цинка 7ф, свинца 6ф, марганца 2ф, никеля 1,9ф, ванадия 1,6ф, молибдена и кобальта 1,3ф [5-6].

В 2008-2010 годах проводилась региональная научно-исследовательская работа Росгидромета по теме «Опытная реализация региональной системы мониторинга стойкими органическими загрязняющими веществами (СОЗ) на территории деятельности Верхне-Волжского УГМС в рамках подсистемы мониторинга загрязнения г. Дзержинска Нижегородской области» с целью создания национальных систем мониторинга загрязнение СОЗ в странах – Сторонниках Стокгольмской Конвенции.

В соответствии с Программой исследования загрязнения окружающей среды г. Дзержинска стойкими органическими веществами в 2008–2010 годах проведены работы по анализу проб почвы. Химический анализ был выполнен в химико-аналитическом центре ИПМ ГУ «НПО «Тайфун» Росгидромета и в лабораториях территориального Центра по мониторингу загрязнения окружающей (ЦМС) ГУ «Нижегородский «ЦГМС-Р».

По итогам исследований содержание диоксинов во всех отобранных в 2008-2009 гг. пробах почвы превышает российскую норму в десятки раз. При этом во всех пробах почвы установлен широкий набор изомеров, что свидетельствует о загрязнении почвы. Сравнение с данными по загрязнению городской почвы, полученными в 1992 году, показывает, что уровни диоксинов за 15 лет практически не изменились, т.е. не происходит самопроизвольного разрушения СОЗ.

По выявленным уровням загрязненности почвы отдельных пунктов городского округа можно отнести к чрезвычайно-опасной категории загрязнения. При поднятии уровня Чебоксарского водохранилища вопросы вымывания диоксинов и других СОЗ из почв городского округа остаются неизученными, а отнесение почв к чрезвычайно загрязненной категории вызывает озабоченность.

ГУ «Нижегородский «ЦГМС-Р» также проводит гидрохимические наблюдения за качеством поверхностных вод р. Ока выше и ниже сбросов г. Дзержинска. Перечень приоритетных загрязняющих веществ включает азот нитритный, ионы меди, железа общего, марганца и цинка. Качество воды в р.Ока выше города, в его черте и ниже него по комплексному показателю УКИЗВ за 2008-2009 гг. соответствует 3 классу разряда «Б» - очень загрязненные. Влияние сброса сточных вод РОС-350 г.Дзержинска на качество воды Чебоксарского водохранилища выражено незначительно, в тоже время ежегодно отмечается неоднородность концентраций по ширине водоема.

Однако, простым сопоставлением данных по мониторингу загрязнения почв и поверхностных вод суши невозможно даже вероятностно оценить уровень загрязнения водоохранных зон и водных объектов, как источников питьевого водоснабжения.

Правовой режим водоохраной зоны регулируется Водным и Земельным кодексами, а также другими нормативно-правовыми актами.

Наблюдения за состоянием берега и водоохранных зон водных объектов осуществляют органы исполнительной власти субъектов РФ, а также собственники водных объектов и водопользователи в порядке, установленном Министерством Природных ресурсов.

Нормы ст.65 Водного кодекса существенно уменьшили размеры водоохранных зон водных объектов (по крупным рекам в 2,5 раза). Также были исключены из перечня статьи о проведении без согласования с бассейновыми и другими территориальными органами управления водного фонда строительства и реконструкции зданий, сооружений, коммуникаций и других работ по добыче полезных ископаемых, землеройных и других работ в водоохранных зонах. Новый Водный кодекс, упразднив лицензирование водопользования значительно сократил роль и значение государственного управления.

Так, на территории г.Дзержинска в водоохранной зоне реки Оки находятся земельные участки, переданные в аренду.

В 2009 году на территории грузового порта ООО «Спецплав» г. Дзержинск, вблизи Бабинского затона (р. Ока), было обнаружено несанкционированное размещение отходов в двух ямах. Захоронение находилось на территории водоохраной зоны р. Оки. Расстояние от места захоронения отходов до уреза воды составило всего 80 м. По предварительным оценкам объем захороненных отходов составил несколько тонн, что по критериям Росгидромета относится к ЭВЗ. Были проведены работы по затариванию и складированию обнаруженных отходов в ангар. В общей сложности было перемещено 495 тонн опасных отходов.

Однако, чтобы полностью освободить земли водоохраной зоны от опасного захоронения, потребовался почти год. Из-за чего весной 2010 года в период сезонного повышения уровня воды на р. Оке, и интенсивных осадков возникла реальная опасность смыва пестицидов в водоем. Было особенно опасно в данной ситуации то, что в 5-7 км ниже по течению расположены водозаборы Автозаводского и Приокского районов г.Н.Новгорода, центра ПФО, города с населением более 1,5 миллионов жителей.

По данным количественного химического анализа проб, отобранных вокруг ямы с отходами, МУП «РЦэм» обнаружены значительные концентрации таких пестицидов, как Гамма-ГХЦГ (7,0 ПДК), а также тяжелых металлов: цинка (170 ПДК), свинца (27 ПДК), которые относятся к высокотоксичным веществам.

Проанализировав этот инцидент можно сформулировать несколько причин, по которым отсутствие мониторинга и контроля за

состояние водоохранных зон может привести к серьезным последствиям не только для экосистемы, но и для здоровья человека:

1. Загрязнение почвы может привести к загрязнению грунтовых вод;
2. Сезонное повышение уровней воды в реке, а также таяние снега и осадки могут привести к смыву загрязняющих веществ в поверхностный водоем, что, как в данном случае, создает угрозу качеству воды на водозаборах.

Учитывая объем накопленных данных по г. Дзержинск, уровень промышленности, наличие потенциально–опасных объектов, угрозу подтопления и вымывания из почв загрязняющих веществ в период подъема Чебоксарского водохранилища до 68 отметки актуальной можно считать разработку модели транспорта веществ и попадания их в воду [1, с.102].

Такие модели являются центральным инструментом эффективной защиты водных ресурсов в Евросоюзе. Анализ транспорта веществ и попаданий в воду позволяет описать воздействие различных источников на загрязнение воды.

Для создания модели исследуемого бассейна реки необходимы исходные данные: использование земли; суммы годовых и летних осадков; физико-химические параметры почвы; коммунальные очистные сооружения; содержание веществ в верхних слоях почвы; промышленность; карта мониторинга загрязнения почвы

На основании распределения земельных участков, которые включают территории водоохранных зон, составляется карта мониторинга почвы. По результатам анализа проб почвы определяются физико-химические свойства и содержание загрязняющих веществ в верхнем слое почвы. Учитываются атмосферные осадки, а также сезонное повышение уровней воды, т.е. факторы, способствующие вымыванию загрязняющих веществ из почвы.

Важной компонентой является объем сброса производственных сточных вод от промышленных предприятий города и концентрации, содержащихся в них, загрязняющих веществ, содержание загрязняющих веществ в водном объекте и в донных отложениях. Создание модели высот позволит определить уклон реки и коэффициент наполнения донных отложений.

На основе этих данных создается модель транспорта веществ и попадания их в воду (рисунок 1). Что, в свою очередь, позволит спрогнозировать уровни загрязнения поверхностных вод и, соответственно, вероятность возникновения угрозы питьевым водозаборам. Полученная информация может быть предоставлена всем заинтересованным организациям, в том числе, органам исполнительной власти, Роспотребнадзору и т.д.

Работа может быть выполнена в рамках региональной научно-исследовательской работы с Научно-исследовательским институтом Росгидромета, который проявит интерес к созданию трехмерной цифровой модели на основе рамочной директивы по воде (РДВ), принятой в Европе. Работы будут проводиться на фактических фондовых материалах нашего учреждения.

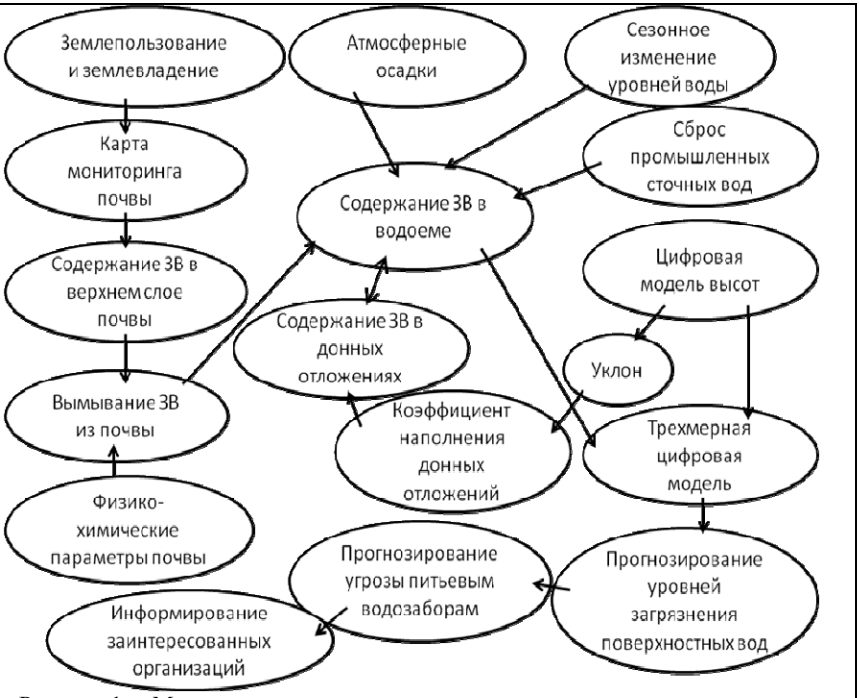


Рисунок 1. – Модель транспорта и попадания загрязняющих веществ в воду

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 11-й Международный научно-промышленный форум «Великие реки‘2009». Труды конгресса. Том 1. Н.Новгород: Нижегород.гос.архит.-строит.ун-т. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2010. – 685 с.
2. Проблемы гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей среды в бассейнах великих рек. Сборник материалов конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки 1999-2004». Санкт-Петербург: ГИДРОМЕТИЗДАТ, 2005. – 432 с.
3. Постановление Правительства РФ №219 от 10 апреля 2007 года «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов (ГМВО)»
4. Водный кодекс РФ,2006г.

5. Ежегодник загрязнения почв токсикантами промышленного происхождения на территории деятельности Верхне-Волжского УГМС в 2009 году. Н.Новгород,2010 г.
6. Ежегодник загрязнения почв токсикантами промышленного происхождения на территории деятельности Верхне-Волжского УГМС в 2008 году. Н.Новгород, 2009 г.

УДК 504.054

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЛЕСНЫХ И ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ ЛЕТОМ 2010 Г.

Н.В. Андриянова, И.М. Шахова

Нижегородский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями, г. Нижний Новгород

irinashakhova@rambler.ru

Ключевые слова: пожар, загрязнение, окружающая среда, Нижегородская область, атмосферный воздух

ВВЕДЕНИЕ

Летом 2010 г. во многих субъектах Российской Федерации сложилась чрезвычайная ситуация, связанная с горением лесов и торфяников, что добавило природную составляющую к значительной антропогенной нагрузке на природную среду. Не стала исключением и Нижегородская область. В период с 1 июля по 19 августа 2010г. метеостанции Нижегородской области фиксировали снижение прозрачности атмосферы из-за дыма, дымки и мглы, образовавшихся в результате лесных пожаров на территории области. Только по предварительным оценкам специалистов площадь, пройденная огнем по территории Нижегородской области летом 2010г., составила 2591 км^2, что в 5 раз больше, чем в Московской области. Цель работы - оценка последствий негативного воздействия сложившейся чрезвычайной ситуации на компоненты окружающей природной среды. Объект исследования - прежде всего, качество атмосферного воздуха, испытавшего наибольшую нагрузку в период ЧС. Повышенный интерес к рассматриваемой проблеме обусловлен также тем, что загрязнение атмосферного воздуха способствовало росту числа заболеваний органов дыхания и системы кровообращения, обострению аллергических реакций, как у детей, так и у взрослых, увеличению смертности населения. Обобщение полученных данных о состоянии природной среды в период ЧС может быть использовано для оценки степени влияния загрязненности окружающей среды на здоровье населения в исследовательских работах, проводимых совместно с органами Минздравсоцразвития и Роспотребнадзора РФ.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, СЛОЖИВШИЕСЯ НА ТЕРРИТОРИИ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ В ПЕРИОД ПОЖАРОВ 2010 Г.

Июль и начало августа 2010 г. характеризовались аномально жаркой и сухой погодой. Неоднократно были перекрыты абсолютные максимумы температуры воздуха, в отдельных районах – экстремальные значения всего периода наблюдений. Аномально жаркая и сухая погода способствовала сохранению и распространению по территории области опасных метеорологических, агрометеорологических и гидрологических явлений. Изменение характера погоды произошло в конце второй декады августа благодаря проникновению атлантических циклонов и прохождению атмосферных фронтов. Температурный фон существенно понизился, прошли дожди разной интенсивности.

СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА В ГОРОДАХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ В ПЕРИОД ЗАДЫМЛЕНИЯ

Антициклональный тип погоды, сохранявшийся на территории Нижегородской области в июле – августе, и характеризующийся застоем приземного воздуха, образованием задерживающих слоев и нисходящими воздушными потоками, в сочетании с приземной температурной инверсией способствовал увеличению уровня загрязнения атмосферы. В связи с неблагоприятными для рассеивания вредных примесей метеоусловиями в июле-августе 2010г. на промышленные предприятия области передавались предупреждения о необходимости снижения выбросов вредных веществ в атмосферу и переходе на соответствующий режим работы. В летний период 2010г. количество дней, в течение которых действовало предупреждение о необходимости снижения вредных выбросов в атмосферу в период неблагоприятных для рассеивания примесей метеоусловий (НМУ), в Н.Новгороде составило 41 день, что на 20 дней больше, чем в период чрезвычайной пожароопасности лесов 2002г. и на 36 дней больше, чем в аналогичный период 2009г. (рис. 1). При выполнении предприятиями мероприятий по сокращению выбросов концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы должны были снизиться примерно на 20-40%.

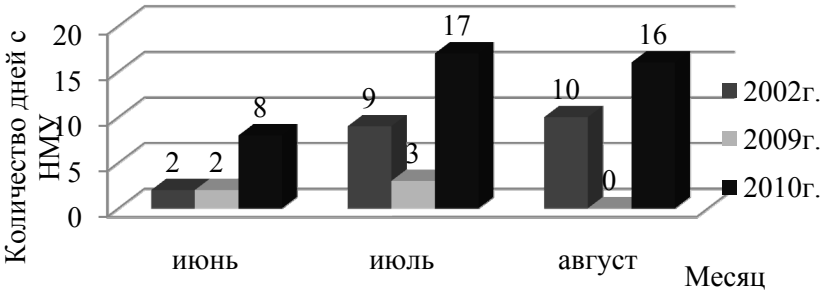


Рисунок 1 – Количество дней с НМУ в г.Н.Новгороде в 2002, 2009 и 2010 годах

Пожары внесли свой вклад в общий уровень загрязненности атмосферы, прежде всего, в части резкого увеличения содержания в воздухе населенных пунктов области оксида углерода и взвешенных веществ - химических индикаторов влияния горящих лесов и торфяников. В атмосфере г.Н.Новгорода в июле и августе 2010г. по сравнению с аналогичным периодом 2009г. отмечено увеличение среднемесячного содержания взвешенных частиц и угарного газа в 2-3 раза, максимальных концентраций – в 6-8 раз. Ход содержания в атмосфере городов Нижегородской области оксида углерода в 2010г. представлен в таблице 1.

Содержание в атмосферном воздухе городов и населенных пунктов Нижегородской области диоксида серы - одного из характерных веществ, образующихся при сгорании ископаемых видов топлива, обычно не превышает трёх сотых долей ПДК и имеет тенденцию к росту в осенне-зимний период в связи с увеличением выбросов от ТЭЦ и котельных. Но в связи с торфяными и лесными пожарами, в г.Дзержинске содержание диоксида серы увеличилось до 0,5 $ПДК_{с.с.}$ в июле и до 0,7 $ПДК_{с.с.}$ в августе. В г.Дзержинске значительно возросло содержание формальдегида, что может быть связано с повышенной солнечной активностью и вторичными фотохимическими реакциями в атмосфере и характерно для Центрального региона России. Кроме загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу в результате процессов горения торфа и древесины, в воздухе городов Нижегородской области появились специфические примеси, например фенол, рассеивание которых в условиях антициклонального типа погоды было затруднено.

Накопление вредных примесей способствовало значительному росту интегрального параметра «Р», отражающего уровень загрязненности атмосферного воздуха комплексом определяемых загрязняющих веществ до значений, никогда ранее не наблюдавшихся. В период пожаров в г.Н.Новгороде и г.Дзержинске отмечено 10 случаев увеличения параметра «Р» до уровня критического значения для региона («Р» > 0,50). На рисунках 2, 3 представлены сравнительные данные значений интегрального параметра «Р» в г.Н.Новгород и г.Дзержинске в 2009г. и 2010г. в период ЧС.

Таблица 1

Осредненное содержание оксида углерода в атмосфере городов Нижегородской области в 2010г. (в долях $ПДК_{с.с.}$)

Населенный пункт	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
г.Н.Новгород	0,8	0,7	0,4	0,4	0,4	0,6	1,1	1,4	0,4	0,3	0,4	0,6
г.Дзержинск	0,2	0,2	0,2	0,5	0,4	0,5	1,1	1,8	0,2	0,2	0,1	0,2
г.Кстово	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	0,6	1,5	1,9	0,6	0,5	0,4	0,2
г.Арзамас	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3

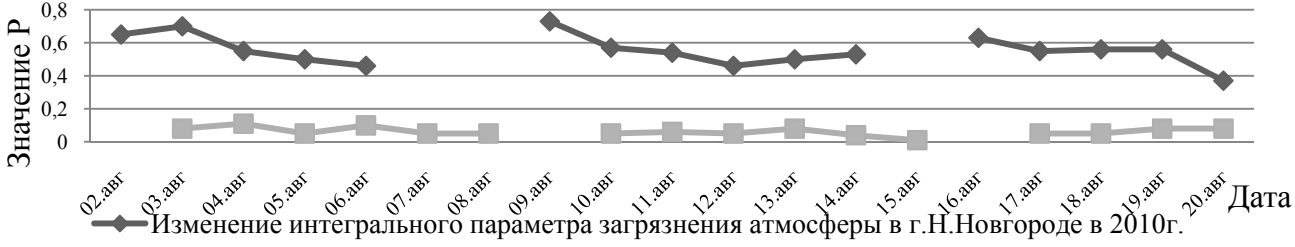


Рисунок 2- График значений интегрального параметра «P» в г.Н.Новгороде за период с 02.08.10г. по 20.08.10г. и с 02.08.09г. по 20.08.09г.

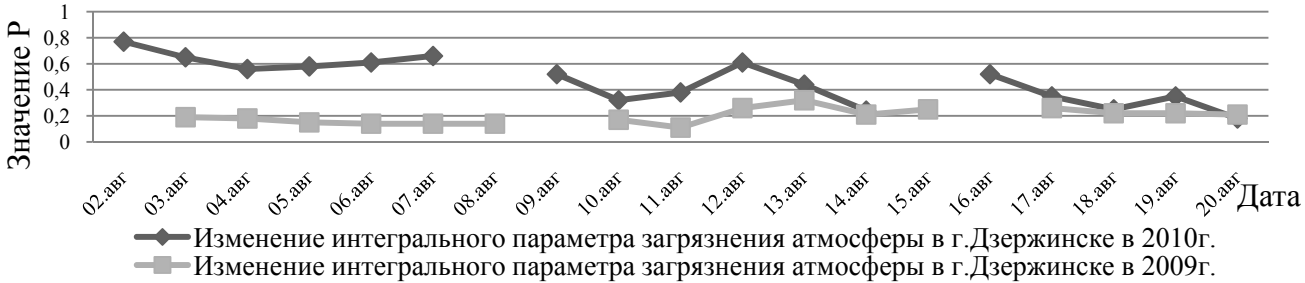


Рисунок 3 - График значений интегрального параметра «Р» в г.Дзержинске за период с 02.08.10г. по 20.08.10г. и с 02.08.09г. по 20.08.09г.

В период пожаров разовые концентрации большинства контролируемых в атмосфере городов Нижегородской области примесей регулярно превышали допустимые санитарные нормы. В г.Н.Новгороде, г.Дзержинске и г.Сарове было зафиксировано 27 случаев повышенного загрязнения ($\geq$5,0 $ПДК_{м.р.}$) атмосферы.

По обобщенным данным за 2010г. уровень загрязнения воздуха в большинстве городов области с учетом вклада от горения лесов и торфяников был высоким, а комплексный показатель загрязнения атмосферы ($ИЗА_5$) в г.Дзержинске превысил 14,1 единицы, что соответствует категории «очень высокое загрязнение».

Кроме того, в период ЧС сложился комплекс прочих негативных для окружающей среды последствий, таких как:

- увеличение биомассы зоопланктона вследствие высокой температуры воды поверхностных водоемов и водотоков, использующихся в целях питьевого водоснабжения,
- снижение самоочищающей способности водных объектов в условиях низкой водности,
- угроза радиоактивного загрязнения окружающей среды вследствие нестандартных ситуаций на РОО г.Сарова.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- По итогам проведенного анализа последствий чрезвычайной ситуации был подготовлен отчет для органов государственной власти субъекта для учета при разработке и реализации комплекса мер, направленных на обеспечение готовности системы мониторинга состояния окружающей среды к действиям в подобных ситуациях. Отчет был включен в государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Нижегородской области за 2010г. и размещен в электронных СМИ.
- Разработка мероприятий по оперативному снижению поступающих в атмосферу выбросов от промышленных предприятий и автотранспорта в сочетании с обследованием создаваемого уровня загрязнения городов является основой для снижения остроты ситуации при повторении периодов чрезвычайной пожароопасности лесов и торфяников.
- Оценка качества атмосферного воздуха при принятом в России методе определения уровня загрязнений является неполной; необходимы непрерывные автоматизированные наблюдения, позволяющие фиксировать не только максимальные уровни, но и продолжительность воздействия повышенного загрязнения на окружающую среду.

- Необходимо разработать единый подход к оценке уровня загрязненности компонентов окружающей среды в периоды чрезвычайных ситуаций с использованием современных средств дистанционного зондирования атмосферы в рамках НИР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководящий документ: РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»
2. Руководящий документ: РД 52.04.667-2005 «Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию».

УДК 574.504.75.05

АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ОСНОВНЫХ И СПЕЦИФИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ДОБЫЧЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

О.С .Бичекуев

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

bichekuev@mail.ru

Ключевые слова: выбросы в атмосферный воздух, основные и специфические загрязняющие вещества, приведённая масса, коэффициент эколого-экономической опасности

Самой важной жизнеобеспечивающей природной средой является атмосферный воздух, который оказывает интенсивное воздействие не только на человека и биоту, но и на гидросферу, почвенно-растительный покров, геологическую среду, здания, сооружения и другие техногенные объекты.

В настоящее время в атмосфере находится значительное количество загрязняющих веществ антропогенного происхождения. Из-за продолжающегося роста промышленного и сельскохозяйственного производства появляются новые химические соединения, в том числе сильно токсичные.

Из всех выбрасываемых в атмосферный воздух вредных веществ от стационарных источников примерно третью часть составляет оксид углерода (CO), а почти четверть всех выбросов приходится на диоксид серы (SO_2).Попадающие в атмосферный воздух загрязняющие вещества составляют примерно 25% от всех вредных веществ, которые образуются при различных производственных технологических процессах. Остальные 75% образующихся газов проходят отчистку на пылегазовых установках, фильтрах и т.д., улавливаются в результате этих процессов, а затем утилизируются. Наибольший эффект при пыле-газоочистке достигается в отношении твёрдых веществ, улавливание и обезвреживание которых составляет 95%. Улавливание и обезвреживание CO и SO_2 происходит в пределах 30% и 20% соответственно. Менее всего современные фильтры улавливают и обезвреживают наиболее токсичные и опасные (в том числе канцерогенные) вещества из группы углеводородов, такие как

бензол, бенз(а)пирен, метанол и др. Даже в малых количествах они остаются весьма опасными для здоровья населения [1].

В настоящее время выбросы загрязняющих веществ, как от стационарных, так и от передвижных источников, учитываются как по общему количеству выбрасываемых веществ (по валу), так и по конкретным основным веществам (диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота). Реже производится учет выбросов специфических, более токсичных веществ (тяжелые металлы и их соединения, углеводороды, хлорированные углеводороды, диоксины и фураны, бенз(а)пирен и другие).По данным Ежегодников «Выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов и регионов Российской Федерации за 2003-2008» к основным загрязняющим веществам выбрасываемым в атмосферный воздух относятся диоксид серы, оксиды азота и окись углерода [2].

Вместе с тем, каждое выбрасываемое вещество принадлежит к определенному классу опасности по воздействию на окружающую среду и на человека.

Кроме того, в различных работах, связанных с определением экологического ущерба, определены коэффициенты относительной эколого-экономической опасности загрязняющих веществ для окружающей среды (таблица 1).

Таблица 1

Коэффициент относительной эколого-экономической опасности загрязняющего вещества, выбрасываемого в атмосферный воздух

Загрязняющие вещества	**$К_{эi}$**
Основные загрязняющие вещества	
Оксид углерода (4 класс опасности)	0,4
Углеводороды (в пересчете на углерод)	0,7
Твердые вещества (недифференцированная по составу пыль)	2,7
Оксиды азота (2 класс опасности)	16,5
Сернистый ангидрид (3 класс опасности)	20
Специфические загрязняющие вещества	
4 класс опасности	
Бутилен, бензин, гексан, скипидар пентан и д.р. Химические соединения с ПДК с.с. больше 0,8 мг/м куб.	1,2

Амофос, бутил ацетат, карбомид, мочевина, диэтиловый спирт, хлорат магния, хлористый этил этилацетат, четырёххлористый углерод и другие химические соединения с ПДКс.с. от 0,08 до 0,8 мг/м куб.	6,7
Аммиак, ацетон, бензин, диметиламин, нафталин, метилен бромистый и другие химические соединения с ПДКс.с. Меньше 0,08 мг/м куб.	28,5
3 класс опасности	
Ангидрид вольфрамовый, оксид вольфрама, сульфат натрия, пропилен, дихлорпропан, хрихлорэтилен и др. хим. соединения с ПДКс.с. больше 0,1 мг/м куб.	10
Оксид висмута, оксид железа, капролактам, оксид магния, оксид олова, метиланилин, сажа и др. хим. соединения с ПДКс.с. от 0,01 мг/м куб. до 0,1 мг/м куб.	33,5
Сульфат железа, хлорбензатрифторид, этилакрилат и др. хим. соединения с ПДКс.с. меньше 0,01 мг/м куб.	143
2 класс опасности	
Бензол, хлористый водород, дихлорэтан, ксилол, тетрахлорэтилен, азотная кислота, серная кислота, этилхлоргидрин и др. хим. соединения с ПДКс.с. больше 0,05 мг/м куб.	20
Анилин, бром, бромбензол, бромфенол, цианистый водород, диметиламин, йод, нитробензол, фтористые соединения и др. хим. соединения с ПДКс.с. От 0,0040 до 0,05 мг/м куб.	110
Марганец и его соединения, оксид меди, фенол, никель металлический, мышьяк, сероводород, стирол, формальдегид, хлоропрен и и др. хим. соединения с ПДКс.с. меньше 0,004 мг/м куб.	500
1 класс опасности	
Оксид ванадия, гексахлоциклогексан, оксид пропилена, барий углекислый, бутил хлористый и др. хим. соединения с ПДКс.с. больше 0,002 мг/м куб.	300
Сернистый свинец, хром шестивалентный, сульфат никеля и др.высокотоксичные химические соединения с ПДКс.с. от 0,0004 до 0,002 мг/м куб.	1670
Соединения свинца, соединения кадмия, соединения ртути и другие высокотоксичные химические соединения с ПДКс.с. от 0,002 до 0,0004 мг/м куб.	5000
Бенз(а)пирен, БВК, диоксид селена, диоксид теллура, тетраэтил свинец и др. чрезвычайно токсичные химические соединения с ПДКс.с. меньше 0,0002 мг/м куб.	12500

Коэффициент относительной эколого-экономической опасности загрязняющих веществ для атмосферного воздуха может находиться в пределах от десятых долей единиц (например оксид углерода) до двенадцати с половиной тысяч единиц (например бенз(а)пирен, диоксид селена и т.д.) в зависимости от токсичности химических веществ и соединений, класса опасности и ПДКс.с[3].

Для определения степени вредности выбросов, необходим интегральный подход к составу и количеству выбрасываемых веществ с учётом коэффициента относительной эколого-экономической опасности ($К_{эi}$).

Поэтому, для более полного учёта воздействия специфических веществ на окружающую среду, используем приведённую массу загрязняющего вещества.

Приведённая масса загрязняющего вещества рассчитывается по формуле:

- для вещества:

$$Mk = m_i * K_{эi}$$

- для вида экономической деятельности:

$$Mв = \sum_{k-1}^{k} Mk$$

$К_{эi}$ - коэффициент эколого-экономической опасности загрязняющего вещества;

$М_{зв}$ - количество загрязняющего вещества, тонн. [4].

С учётом состава выбрасываемых загрязняющих веществ, их количества, а также коэффициентов относительной эколого-экономической опасности рассмотрим воздействие на атмосферный воздух выбросов вида экономической деятельности «Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых».

Данные об объёмах выбросов стандартных и специфических загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников по виду экономической деятельности «Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых» приведены в таблицах 2 и 3 [5,6,7,8,9].

Таблица 2

Выбросы основных загрязняющих веществ в атмосферу 2004-2008 г., тыс. т.

Загрязняющие вещества	**2004 год**	**2005 год**	**2006 год**	**2007 год**	**2008 год**
диоксид серы	145,3	98,28	201,49	102,02	110,78
оксид углерода	3050,92	2726,07	2544,79	2575,62	2346,5
оксиды азота	92,49	99,3	94,69	106,33	105,33

Таблица 3

Выбросы специфических загрязняющих веществ в атмосферу 2004-2008 г., тыс. т.

Загрязняющие вещества	**2004 год**	**2005 год**	**2006 год**	**2007 год**	**2008 год**
ДиВанадий пентоксид (Ванадия пятиокись)	0,009	0,006	0,006	0,004	0,002
Марганец и его соединения (в пересчете на марганца(IV) оксид)	0,02	0,01	0,009	0,01	0,009
Медь(II) оксид (Меди оксид) (в пересчете на медь)	0,005	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	0,0006	0,005	0,001	0,0002	0,005
Хром (в пересчете на хрома(VI) оксид)	0,06	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004
Азотная кислота (по молекуле HNO-3)	0,00079	0,00094	0,005	0,00005	0,00005
Аммиак	0,0001	0,0001	0,09	0,08	0,08
Водород цианистый (Синильная кислота)	0,0001	0,00004	-	0,0001	1,0003
Серная кислота (по молекуле H-2-SO-4)	0,22	0,18	0,08	0,1	0,1
Углерод (Сажа)	315,62	292,14	263,85	253,18	235,69
Дигидросульфид (Сероводород)	1,37	2,34	2,74	2,7	1,41
Фтористые газообразные соединения - гидрофторид, кремний тетрафторид (фтористые соединения газообразные (фтористый водород, четырехфтористый кремний) (в пересчете на фтор))	0,01	0,01	0,01	0,01	0,003
Хлор	0,00068	0,0007	0,001	0,001	0,00009
Метан	1147,03	1194,17	1266,32	1425,04	1394,42
Бензол	1,51	1,86	2,01	2,06	2,01
Диметилбензол (смесь о-, м-, п-изомеов) (Ксилол)	0,7	0,81	0,9	0,83	0,91
Винилбензол (Стирол)	0,00092	0,00091	0,05	0,00023	0,00001

Метилбензол (Толуол)	1,23	1,5	1,54	1,37	1,34
Бенз(а)пирен (3,4-Бензпирен)	0,00024	0,00003	0,00062	0,00055	0,0002
Тетрахлорметан (Углерод чеыреххлористый)	0,00087	0,00078	0,001	0,00087	0,002
Пропан-2-ол (Спирт изопропиловый)	0,008	0,01	0,01	0,01	0,01
Гидроксибензол (Фенол)	0,008	0,007	0,007	0,006	0,006
Бутилацетат	0,08	0,097	0,08	0,08	0,05
Этилацетат	0,05	0,05	0,04	0,04	0,02
Формальдегид	0,04	0,04	0,07	0,14	0,17
Пропан-2-он (Ацетон)	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03
Метантиол (Метилмеркаптан)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004
Бензин (нефтяной, маслосернистый (в пересчете на углерод))	16,65	12,85	10,71	18,08	17,39

Таблица 4

Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу 2003-2008 г., тыс.т.

Загрязняющие вещества	**2004 год**	**2005 год**	**2006 год**	**2007 год**	**2008 год**
Основные загрязняющие вещества	3288,71	2923,65	2840,98	2783,96	2562,6
Специфические загрязняющие вещества	1484,77	1506,24	1548,54	1703,79	1653,66
Всего	4773,48	4429,89	4389,52	4887,75	4216,26

Из таблиц 2 и 3 следует, что при добыче топливно-энергетических полезных ископаемых происходит выброс различных загрязняющих веществ.

В таблицах 5 и 6 приведены классы опасности, коэффициенты эколого-экономической опасности и приведённые массы основных и специфических загрязняющих веществ, для вида экономической деятельности «Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых».

Из таблицы 5 и 6 видно, что коэффициент относительной эколого-экономической опасности основных загрязняющих веществ

является небольшим. Однако, происходит также выброс опасных загрязняющих веществ (бенз(а)пирен, хром, свинец) с высоким коэффициентом эколого-экономической опасности. Наибольшие значения приведённой массы имеют метан ($Кв_{зв}$=47738,97, КО=3), углерод (сажа) ($Кв_{зв}$=10573,2, КО=3), серы ($Кв_{зв}$=4029,88, КО=3), оксиды азота ($Кв_{зв}$=1754,38, КО=2), дигидросульфид (сероводород) ($Кв_{зв}$=1347,92 , КО=2), ,оксид углерода ($Кв_{зв}$=1220,37, КО=4) .

Таблица 5

Приведённые массы основных загрязняющих веществ 2004-2008 гг.

Загрязняющие вещества	**КО**	**$К_{эi}$**	**Приведённая масса 2004 год**	**Приведённая масса 2005 год**	**Приведённая масса 2006 год**	**Приведённая масса 2007 год**	**Приведённая масса 2008 год**
диоксид серы	3	20	2905,92	1965,5	4029,88	2040,3	2215,52
оксид углерода	4	0,4	1220,37	1090,43	1017,92	1030,25	938,6
оксиды азота	2	6,5	1526,07	1638,5	1562,42	1754,38	1737,88
Всего			5652,36	4694,43	6610,22	4824,93	4891,99

Таблица 6

Приведённая масса специфических загрязняющих веществ 2004-2008 гг.

Загрязняющие вещества	**КО**	**$К_{эi}$**	**Приведенные массы**				
			2004 год	**2005 год**	**2006 год**	**2007 год**	**2008 год**
ДиВанадий пентоксид (пыль) (Ванадия пятиокись)	1	300	2,85	1,86	1,82	1,14	0,51
Марганец и его соединения (в пересчете на марганец (IV) оксид)	2	500	10,36	5,6	4,57	6,72	4,73
Медь(II) оксид (Меди оксид) (в пересчете на медь)	2	500	2,75	0,11	0,07	0,1	0,09
Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	1	5000	2,98	24,72	5,21	1,02	24,44
Хром (в пересчете на хрома(VI) оксид)	1	1670	97,99	0,8	0,66	0,72	0,62
Азотная кислота (по молекуле HNO-3)	2	20	0,02	0,02	0,09	0,001	0,001
Аммиак	4	28,5	3,29	3,19	2,68	2,32	2,32
Водород цианистый (Синильная кислота)	2	110	0,13	0,004	0,11	0,01	0,15
Серная кислота (по молекуле H-2-SO-4)	2	20	4,32	3,63	1,65	1,94	2,01
Углерод (Сажа)	3	33,5	10573,2	9786,6	838,96	8481,56	7895,65
Дигидросульфид (Сероводород)	2	500	684,92	1167,93	1370,75	1347,92	704,73
Фтористые газообразные соединения-гидрофторид, кремний тетрафторид (фтористые соединения газообразные (фтористый водород, четырехфтористый кремний) (в пересчете на фтор))	2	110	1,06	1,17	1,25	1,54	0,34
Хлор	2	500	0,34	0,35	0,64	0,54	0,04
Метан	3	33,5	38425,44	40004,7	42421,62	47738,97	46713,13
Бензол	2	20	30,22	37,14	40,2	41,21	40,12
Диметилбензол (смесь о-,м-,п-изомеров)	2	20	13,91	16,21	17,34	16,57	18,13

(Ксилол)							
Винилбензол (Стирол)	2	500	0,46	0,46	22,58	0,11	0,006
Метилбензол (Толуол)	3	10	12,26	14,96	15,36	13,71	13,41
Бенз(а)пирен (3,4-Бензпирен)	1	12500	3	0,41	7,71	6,9	2,54
Тетрахлорметан (Углерод чыреххлористый)	4	6,7	0,006	0,005	0,007	0,0006	0,01
Пропан-2-ол (Спирт изопропиловый)	3	10	0,08	0,11	1	0,12	0,1
Гидроксибензол (Фенол)	2	500	4,19	3,33	3,25	2,82	2,78
Бутилацетат	4	6,7	0,54	0,65	0,51	0,51	0,35
Этилацетат	4	6,7	0,31	0,31	0,26	0,27	0,1
Формальдегид	2	500	17,99	20,51	34,32	69,91	85,08
Пропан-2-он (Ацетон)	4	28,5	1,64	1,57	1,31	1,21	0,849
Метантиол (Метилмеркаптан)	2	500	1,21	1,07	0,78	1,09	1,75
Бензин (нефтяной маслосернистый (в пересчете на углерод))	4	1,2	19,98	15,41	12,86	21,7	20,87
Всего			49915,31	51112,84	52806,67	57760,66	55534,83

Соотношение вклада основных и специфических загрязняющих веществ в загрязнение атмосферного воздуха с 2004 по 2008 годы, по виду экономической деятельности «Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых» представлено на рисунке 1.

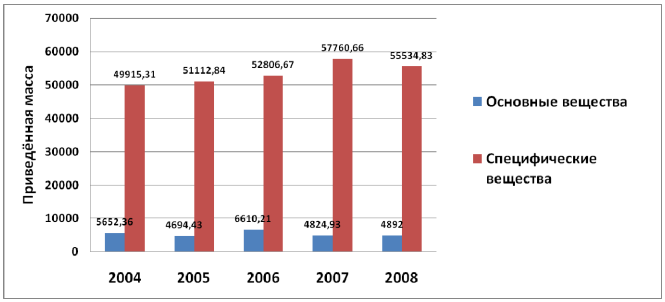


Рис.1 Оценка вредности основных и специфических загрязняющих веществ в виде экономической деятельности «Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых»

ВЫВОДЫ:

1. Анализ информации показывает, что с 2004 по 2006год общая сумма выбрасываемых загрязняющих веществ уменьшилась на 3.6%. В 2007 году общая сумма загрязняющих веществ увеличилась на 4,1%, а в 2008 году произошло уменьшение выбросов, практически до уровня 2006 года

2. Вредность специфических веществ выше вредности основных веществ примерно в 10 раз

3. Вредность специфических загрязняющих веществ определялась в первую очередь выбросами метана и составляла в период с 2004 по 2008 69,2-77,3% от вредности выбросов основных и специфических загрязняющих веществ. Следует отметить, что метан является одним из основных парниковых газов, выбросы которого подпадают под действие Киотского протокола Рамочной конвенции по изменению климата

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеховцов А.А. «Загрязнение воздуха в России в 1992-2000 годах». Россия в окружающем мире - 2008.Устойчивое развитие: экология, политика экономика: Аналитический ежегодник. М.: Изд-во МНЭПУ, 2008 - 68-97с.
2. Ежегодники Выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов и регионов Российской Федерации (России) за 2003-2008 годы.
3. Шеховцов А.А. «Учёт вредных веществ при комплексной оценке окружающей среды с применением экологических индикаторов». Сборник тезисов VI международного экологического форума «День Балтийского моря». Санкт-Петербург, «Издательский дом Герда», 2005 – 434-444с.
4. Временная методика определения предотвращённого ущерба – Москва , 1999г.
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2008 году». — Москва, ООО «РППР РусКонсалтингГрупп» по заказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2009.
6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2007 году». — М.: АНО «Центр международных проектов» по заказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2008.
7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2006 году». — М.: АНО «Центр международных проектов» по заказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2007.
8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2005 году». — М.: АНО «Центр международных проектов» по заказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2006.
9. Отчеты об осуществлении экологического контроля 2-ТП (воздух) (форма годовой отчетности) за 2003- 2008 годы.

УДК 504.064.4::504.38.05

УЛАВЛИВАНИЕ И ЗАХОРОНЕНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В РОССИИ

И.Л. Говор

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

Irina_govor@list.ru

Ключевые слова: изменение климата, парниковые газы, углекислый газ, антропогенные выбросы, улавливание, захоронение, геологические структуры.

ВВЕДЕНИЕ

В представленной работе поставлена цель оценить достигнутый в России прогресс в области развития одной из ведущих технологий по снижению выбросов парниковых газов – улавливания и хранения углекислого газа (УХУ), а так же основной технический и природный потенциал страны для решения задачи о возможностях и перспективах ее дальнейшего применения.

Понижение антропогенных выбросов CO_2 признается ключевым элементом в предпринимаемых мировым сообществом усилиях по сохранению климата. Развитие технологии УХУ является одним из приоритетных направлений этой политики, что признает и Международная группа экспертов по изменению климата, ведущая научно-методическое обеспечение Киотского протокола.

При выборе путей дальнейшего участия России в современной климатической политике следует принимать во внимание последние научно-технические достижения в этой области. Наша страна располагает множеством крупных промышленных источников CO_2 и находится на территории с разнообразными природными ресурсами, включая месторождения углеводородов, поэтому вопрос о возможности и целесообразности применения УХУ является очень актуальным.

Кроме того, Россия, как одна из стран-участниц Киотского протокола, в соответствии с его условиями ведет инвентаризацию выбросов парниковых газов и уже в ближайшее время может столкнуться с необходимостью отчитываться о внедрении УХУ.

Для решения поставленной задачи автором собрана и проанализирована информация о ведущихся в России научно-

исследовательских работах в области УХУ, источниках CO_2 и подходящих для захоронения геологических структурах, а так же уровне развития и возможностях ранее применяемых близких по сути технологий.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УХУ

Научным сообществом признается, что для предупреждения негативных последствий глобального потепления климата следует уменьшить общие выбросы антропогенных парниковых газов (из которых самым значимым является CO_2) на 50-85% к уровню 1990 года еще до 2050 года [1]. Технология УХУ, активно развиваемая последние 15 лет, представляется одним из способов достижения этой цели [1, 2]. Она объединяет комплекс технологий по улавливанию CO_2 непосредственно из промышленных выбросов, его транспортировки и долговременного хранения в изоляции от атмосферы.

УХУ представляется единственным способом, позволяющим разрешить противоречие между снижением выбросов CO_2 и ростом потребности в электроэнергии, так как по оценкам специалистов, ископаемое топливо будет оставаться ее основным источником по крайней мере, до 2050 года [3]. Для многих отраслей промышленного производства УХУ так же является единственным низко-углеродным решением.

К настоящему моменту в мире уже существуют действующие проекты как отдельных этапов УХУ, так и всей ее технологической цепочки, в том числе пять крупных полномасштабных коммерческих проектов, на которых ежегодно захоранивается более 5 мегатонн CO_2 [4]. Несмотря на это, УХУ еще не является полностью технически развитой, безопасной и широко опробованной технологией и следующие 10 лет считаются критически важными для ее развития с точки зрения сохранения климата.

Наиболее целесообразно и эффективно применение УХУ на крупных промышленных источниках CO_2. К числу таких предприятий относят тепловые электростанции; заводы по производству: природного газа, синтетического топлива и водорода, цемента и стали. Наиболее масштабными и значимыми для УХУ источниками CO_2 из них являются электростанции на ископаемом топливе.

В процессе улавливания CO_2 отделяется от других выбрасываемых предприятием газов для создания его высоконапорного и концентрированного потока, который можно легко транспортировать. Поэтому на начальном этапе внедрения УХУ часто используют предприятия, где отделение CO_2 уже является частью производственного процесса (например, при производстве природного газа).

Полученный при улавливании газ может доставляться к выбранным местам хранения как в газообразном (по трубопроводам), так и в жидком виде в зависимости от выбранного способа. Места хранения CO_2 должны быть расположены в транспортной доступности, рассчитаны на его соответствующий объем, а так же отвечать требованиям долговременности и безопасности хранения газа.

Долговременная изоляция CO_2 от атмосферы может быть достигнута различными путями. Технологии в этой области основаны на возможностях его природных резервуаров – геологических структур и океана, а так же промышленных химических реакциях. Самой развитой и многообещающей из них является захоронение и удержание углекислого газа в геологических структурах (или геологическое хранение). Для этого CO_2 закачивается через скважины в пористые пласты: выработанные нефтегазовые месторождения, глубокие соленосные горизонты или неразрабатываемые угольные пласты (рис.1) [2, 9].

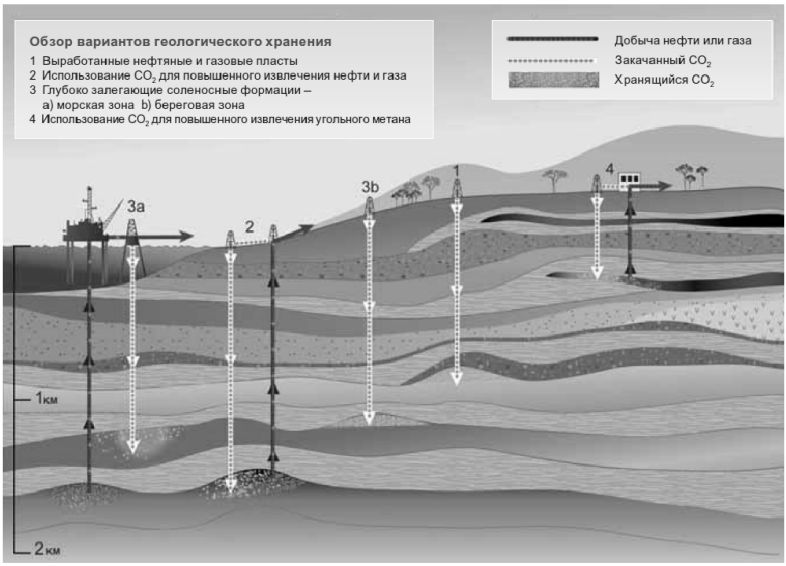


Рис. 1. Варианты геологического захоронения углекислого газа (МГЭИК, 2005 г.)

ТЕХНОЛОГИЯ УХУ В РОССИИ

Научные исследования по этой тематике в России велись и ведутся в очень небольшом объеме только по двум направлениям: развитие технологий улавливания CO_2 для их применения на электростанциях и оценка потенциала захоронения выработанных углеводородных месторождений в отдельных регионах. С 2005 года было проведено около 10 проектов по изучению технологий улавливания в рамках государственных целевых программ, в том числе с участием других стран [5, 6]. Демонстрационной стадии, включающей хранение, эти проекты пока не достигли.

В связи с тем, что УХУ является сравнительно новой и недостаточно изученной технологией, для определения ее потенциала целесообразно рассмотреть уровень развития конструктивно близких технологий в России.

ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ УХУ В РОССИИ
УЛАВЛИВАНИЕ

Наиболее распространенными крупными источниками CO_2 в России являются электростанции, работающие на ископаемом топливе. Среди примерно 400 этих станций, возможно есть подходящие для внедрения улавливания CO_2. Однако, выброс CO_2 от них отличается низкой его концентрацией и давлением, а технологическая перестройка представляется нерентабельной. Таким образом, внедрение УХУ скорее возможно при постройке новых станций, изначально ориентированных на ее применение [7].

Россия является крупнейшим добытчиком природного газа, конденсата и нефти. При этом значительная часть запасов природного газа в России имеют высокое содержание «кислых газов» - CO_2 и сероводорода, которые должны удаляться в процессе добычи. Так, Астраханское месторождение, одно из крупнейших в России, содержит около 20% CO_2. При внедрении технологий УХУ на таких месторождениях, CO_2 в составе отделяемых газов может закачиваться в недра, что в отдельных случаях даже может сопровождаться повышением добычи природного газа. Именно такие месторождения представляют интерес для развертывания пилотных проектов УХУ [8].

ТРАНСПОРТИРОВКА

В России накоплен большой опыт по транспортировке как природного газа и продуктов его переработки, так и чистого CO_2. В-основном, их перемещают по трубопроводам в газообразном или

сжиженном состоянии, в том числе по крупнейшей в мире системе транспортировки газа - Единой системе газоснабжения [8]. Средняя дальность транспортировки газа по этой системе 2900 км. Такие большие расстояния от места добычи природных ресурсов до мест их основного потребления вообще являются особенностью России. Это может привести к дополнительным проблемам в проектах УХУ, связанных с дальностью транспортировки CO_2 между источниками и хранилищами.

ЗАХОРОНЕНИЕ

Несмотря на небольшое количество исследований по геологическому захоронению CO_2 в России, можно сделать некоторые предположения о его возможностях, опираясь на информацию о природных и искусственных резервуарах углеводородов, а так же соленосных гидрологические горизонтах (часто приуроченных к таким месторождениям).

В России открыто около 3 тысяч месторождений нефти и газа. Часть из них уже выработана или выработается в ближайшее время, а при их разработке накоплен значительный технический опыт. О возможных объемах размещения CO_2 в таких месторождениях теоретически можно судить на основе оценки ресурсов углеводородов и уровне их добычи. Прогнозные ресурсы нефти оцениваются в 44 млрд. т, газа - в 127 трлн. куб. м, при их выработке в среднем 490 млн.т нефти и 651 млрд. $м^3$ газа в год [7, 9]. Только емкость Западно-Сибирского бассейна выработанных нефтегазовых месторождений оценена в 177 млрд. т. CO_2, что в 112 раз больше чем его годовая эмиссия [5, 10].

В связи с активной добычей, в России постоянно растет доля трудноизвлекаемых запасов углеводородов, что требует применения различных методов для повышения уровня добычи, включая закачивание газа и жидкостей в пласт. Однако в России, в отличие от ряда зарубежных стран, эти методы широко не используется [11].

В качестве реагента для повышения уровня добычи нефти возможно использовать CO_2. В отличие от США, Норвегии и Канады в России этот способ не используется, в том числе из-за дефицита CO_2, хотя эта технология активно изучалась в 1960-80-х годах. Источником газа при этом служила побочная продукция нефтехимических предприятий. Применение УХУ при этом является не только возможным, но и экономически выгодным, что представляет особый интерес для России в связи с заметным истощением ее нефтяных месторождений [2, 10].

Технологии, подобные УХУ, используются и при нагнетании в пласты газовых и газожидкостных смесей для повышения отдачи углеводородов на месторождениях, а так же при утилизации попутных газов, что практикуют некоторые российские компании. Наиболее близкими к УХУ в этой области являются проекты утилизации кислых газов, которые, однако, пока находятся только в стадии проектирования.

В России существует большой опыт по созданию искусственных подземных хранилищ газа (ПХГ) в виде газовой залежи в пористых пластах, в том числе водоносных и истощенных углеводородных месторождениях. Сейчас в нашей стране больше 20 таких ПХГ, и они сами и их отдельные технологии могут быть использованы для организации хранения CO_2 [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Крупные промышленные источники CO_2 составляют неотъемлемую часть мировой экономики и, как предполагается, сохранят свое значение и в ближайшем будущем, поэтому развитие технологии УХУ является одним из приоритетных направлений климатической политики. Однако, исследования в этой области в России практически не ведутся, несмотря на наличие множества крупных источников CO_2 и подходящих для хранения разнообразных геологических структур. Россия так же обладает значительным научным и инженерным потенциалом в технологически близких к УХУ областях, в том числе при разработке углеводородных месторождений.

Хотя экономическая эффективность и целесообразность применения УХУ в России требует дальнейшего изучения, эти факторы представляют большие возможности для изучения и внедрения этих технологий, особенно с учетом их активного развития в последние годы.

По результатам анализа литературных данных можно заключить, что реализация проектов УХУ возможна в Северо-западном регионе России. Использование же технологий УХУ в методах повышения добычи углеводородов является не только экономически оправданным, но и очень актуальным для истощающихся месторождений России. Данные о количестве CO_2, удаляемых в этих процессах могут лечь в основу как оценки эффективности УХУ для России, так и отчетности в рамках Киотского протокола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МГЭИК, 2007: Изменение климата, 2007: Обобщающий доклад. МГЭИК, Женева, Швейцария, 2008. 104 с.
2. IPCC. Carbon Dioxide Capture and Storage. Cambridge University Press, 2005. 431 pp.
3. IEA: Energy Technology Perspectives 2008. IEA/OECD, Paris, 2008. 643 pp.
4. Carbon capture and storage. Full-scale demonstration progress update. OECD/IEA, Paris, 2009. 8 pp.
5. Cherepovitsyn A.E. Oil and gas fields as future prospect for CO_2 storage in the North-West of Russian Federation//Development, Exploration and Proceising of Raw Materials. Freiberger Forchungsforum 57 Berg- und Huttenmannischer Nag 2006
6. Сайт информационной системы "Конкурсы Минобрнауки России" URL: http://contest2.informika.ru (дата обращения 01.02.2011)
7. Распоряжение Правительства РФ от 28.08.2003 N 1234-р (ред. от 15.06.2009) «Об Энергетической стратегии России на период до 2020 года». Сайт «КонсультантПлюс» URL: http://www.consultant.ru (дата обращения 20.01.2011)
8. Годовой отчет ОАО «ГАЗПРОМ», Москва, ОАО Газпром, 2009. 164 с.
9. Российский статистический ежегодник. М.: Росстат, 2008. 847 с.
10. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990 – 2008 гг. Часть 1. Москва, ИГКЭ, 2010. 363 с.
11. Kuvshinov V.A.. The Use of CO2 and Combustion Gases for Enhanced Oil Recovery in Russia//Advances in the geological storage of carbon dioxide/2006. Series: NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences. p.271-276.

УДК 504.054

СОДЕРЖАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАЛИВА ГРЕНФЬОРД АРХ. ШПИЦБЕРГЕН

А.С. Демешкин

Северо-Западный филиал «НПО «Тайфун»,
г. Санкт-Петербург

knax@rambler.ru

Ключевые слова: Шпицберген, донные отложения, загрязняющие вещества, допустимая концентрация, уровень вмешательства

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на свою удаленность от промышленных районов Европы и Америки арх. Шпицберген подвержен антропогенному влиянию. Одной из основных нагрузок оказывающих влияния на природу архипелага является добыча угля и связанная с ней инфраструктура жилых поселков. В последнее время увеличивается нагрузка на экосистему и за счет туристической индустрии, возрастает количество посещений туристами, соответственно возрастает количество авто и мото транспорта, увеличивается число заходов судов в заливы арх. Шпицберген, строится новая инфраструктура. Все это непосредственно сказывается на уникальной природе архипелага Шпицберген и прилегающей к нему акватории.

Одним из показателей состояния природной среды может служить содержание загрязняющих веществ в донных отложениях из-за способности донных отложений накапливать поступающие вещества. В данной работе представлено современное состояние содержания загрязняющих веществ в донных отложениях залива Гренфьорд и произведено сравнение полученных результатов с региональным фоном.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2009 году Северо-Западный филиал ГУ «НПО «Тайфун» проводил работы по экологическому мониторингу акватории залива Гренфьорд, целью которых являлась оценка состояния природной

среды в районе расположения угледобывающего рудника и жилого поселка Баренцбург (Рис. 1).

Район исследования представляет собой залив, вытянувшийся с севера на юг протяженностью около 17 км и шириной до 4 км, с максимальными глубинами до 170 метров. Вдоль восточного побережья залива располагается комплекс зданий угольного рудника и жилого поселка Баренцбург.

В рамках программы мониторинга были отобраны пробы донных отложений из залива Гренфьорд и проанализированы на содержание основных групп загрязняющих веществ: хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ); полициклических ароматических углеводородов (ПАУ); суммарное содержание нефтяных углеводородов (НУ); тяжелых металлов и мышьяка.

Отбор проб производился с помощью дночерпателя с механическим захватом типа «ван Вин». Для исследования отбирался слой 5 см. Всего было выполнено около 20 морских станций в заливе Гренфьорд.

Анализ полученных результатов выполнялся в соответствии с зарубежными нормативами – «Голландскими листами» («Neue Niederlandische Liste. Altlasten Spektrum 3/95»), которые имеют два уровня оценки - это допустимая концентрация (ДК) – когда содержание загрязняющих веществ не вызывает негативного прямого или косвенного влияния на природную среду и уровень требующий вмешательства (УВ) – грунты считаются токсичными и опасными.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведённые химико-аналитические исследования проб донных отложений показали, что из всего списка контролируемых хлорорганических соединений (Таб. 1) в пробах донных отложений наибольшие концентрации зафиксированы для конгенеров ПХБ и пестицидов группы ДДТ.

Рис.1 Район проведения экологического мониторинга на арх. Шпицберген

Таблица 1

Контролируемые хлорорганические соединения

Группа хлорбензолы	Группа ГХЦГ	Группа ДДТ	Группа ПХБ
Пентахлорбензол; Гексахлорбензол.	a_ГХЦГ; b_ГХЦГ; g_ГХЦГ.	2.4 ДДЕ; 4.4 ДДЕ; 2.4 ДДД; 4.4 ДДД; 2.4 ДДТ; 4.4 ДДТ.	#18; #28; #31; #52; #99; #101; #105; #118; #128; #138; #153; #156; #170; #180; #183; #187; #195; #209.

Из 18 исследуемых индивидуальных конгенеров ПХБ в донных отложениях постоянно фиксировались семь: #28,#52,#101,#105,#118,#138,#153. Максимальное содержание суммы ПХБ для исследуемого района составило 7.26 нг/г или около 0.4 допустимой концентрации.

Для группы ДДТ суммарное содержание составило 2.16 нг/г, что составило 0.9 допустимой концентрации. При этом повышенное содержание пестицидов ДДТ в донных отложениях является характерным для Арктических морей, так как значительная часть ДДТ поступает сюда с морскими течениями.

Значения содержание соединений из групп хлорбензолов и ГХЦГ были не значительны и находились на уровне нижнего предела обнаружения.

В прибрежной части залива наблюдались повышенные значения концентрации суммы ПАУ, до 0.5 допустимой концентрацию. Соединения ПАУ в основном были представлены веществами содержащими 4 и более ароматических колец (такими как пирен, бенз(a)антрацен, хризен, бенз(b)флуорантен, бенз(k)флуорантен, бенз(g,h,i)перилен), что свидетельствует о локальном влиянии промышленных процессов связанных с добычей и переработкой угля.

Концентрации тяжелых металлов в пробах донных отложений не превышали допустимых. Максимальные значения ТМ на обследованной акватории составили: для цинка 0.49 ДК, для меди 0.62 ДК, никеля 0.75 ДК, кобальта 0.29 ДК, свинца 0.19 ДК, кадмия 0.26 ДК, ртути 0.13 ДК и мышьяка 0.52 ДК. Соотношение максимальной измеренной концентрации ТМ относительно ДК представлено на рисунке 2.

По результатам исследований донных отложений залива Гренфьорд выполненных в 2009 году превышения допустимых концентраций загрязняющих веществ наблюдались только для НУ, превысив допустимый уровень в 4.6 раза на локальных участках прибрежной акватории. Отмеченные значения НУ, несмотря на то, что были выше допустимой концентрации, не превышали уровня требуемого вмешательства, составив всего 0.05 его предельной концентрации.

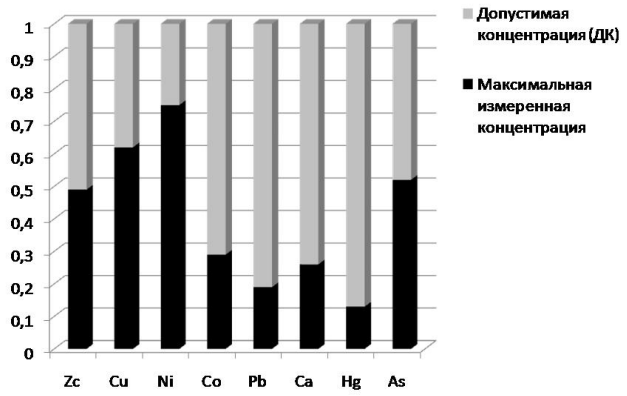


Рис. 2 Максимальные измеренные значения тяжелых металлов в донных отложениях залива Гренфьорд по результатам полевых работ в 2009 г.

Следует также отметить повышенное значение ПХБ в донных отложениях залива Гренфьод. Максимальная концентрация суммы ПХБ в исследуемом районе составила значение всего 0.4 ДК, но при этом это несколько выше, чем в близлежащих акваториях. Так среднее значение суммы ПХБ в донных отложениях залива Гренфьорд составило 0.2 ДК, а в заливах Ис-фьорд и Адвент-фьорд среднее составило 0.08 и 0.02 ДК соответственно [1]. Это может говорить о возможном поступлении ПХБ с поверхностным стоком с территории поселка Баренцбург и угледобывающего комплекса, так как при проведении полевых работ в районе поселка регистрировались зоны с высоким содержанием ПХБ в почве [2,3]. Норвежские исследования, проводимые в этом районе, так же подтверждают наличие зон с повышенным содержанием ПХБ в почве в районе поселка Баренцбург [4].

Содержание других загрязняющих веществ в донных отложениях характеризовались значениями, близкими к региональному фону, работы проведенные ранее на других акватория архипелага Шпицберген показали похожее распределение загрязняющих веществ [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом можно сделать вывод, что деятельность российских предприятий в поселке Баренцбург на данный момент не оказывает значительного влияния на экосистему залива Гренфьорд согласно международным требованиям, но при этом необходимо обращать внимание на отличие распределения некоторых загрязняющих веществ

от регионального фона и на возможные последствия поступления загрязнений с территорий поселка Баренцбург.

В дальнейшем ожидается пополнение банка данных материалами исследований, проведенными в 2010 и 2011 годах, и будет произведена оценка динамики содержания загрязняющих веществ за несколько лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Evenset A. Pollution in settlements in Svalbard. Akvaplan-niva report no.4900-1, 2010.
2. Демин Б.Н., Демешкин А.С., Граевский А.П., Лалетин Н.А. Состояние загрязненности природной среды пос. Баренцбург и сопредельных территорий хлорорганическими соединениями. // Проблемы морской палеоэкологии и биогеографии в эпоху глобальных изменений: Мат-лы IIV Всероссийской школы по морской биологии и IX Международной конференции «Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген» (Мурманск, 12-14 ноября 2009) . – М.: ГЕОС, 2009. С.241-248.
3. Демин Б.Н., Граевский А.П., Демешкин А.С. Фоновый и локальный экологический мониторинг загрязнения компонентов окружающей среды в районах расположения.
российских предприятий на архипелаге Шпицберген (пос. Баренцбург и сопредельные территории)// Новости МПГ 2007/08 № 26 (октябрь–декабрь 2009 г.) С. 6-13.
4. Lundkvist Q., Pedersen H.R., Ottesen R.T., Volden T., Jartun M., Gabrielsen G.W., Skåre J.U., Kallenborn R., Ruus A., Dahle S., Evenset A., Vongraven D., Jenssen B.M., Ekker M., Hindrum R. PCBs in Svalbard.- Longyearbyen, 2008.

УДК 551.435.126+556.542.

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ КАК ИНДИКАТОР КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ДЕЛЬТЕ ТЕРЕКА ПО ДДЗЗ

М.В. Козлова

Государственный Океанографический Институт имени Н.Н. Зубова, г. Москва

kclo@yandex.ru

Ключевые слова: фитоценозы, климатические изменения, гидрологический режим, активность вегетации, плавневые сообщества, сукцессии растительного покрова.

ВВЕДЕНИЕ

Дельта Терека представляет собой уникальный полигон для изучения естественной и антропогенной динамики природных ландшафтов в силу большой изменчивости абиотических факторов. Анализ изменений растительного покрова в регионе может стать дополнительным источником информации о климатических изменениях на побережье Каспия. Влияние климатических факторов проявляется как непосредственно (через изменение хода годовых температур, осадков, солнечной активности и т.д.), так и опосредованно, за счет климатических изменений гидрологического цикла.

Целью данной работы было выявить тенденции изменения растительного покрова территории в связи с изменениями климата и других факторов и определить, какие типы фитоценозов являются индикаторами климатических изменений в исследуемом районе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе проведено сравнение результатов полевых наблюдений, проведенных автором в дельте р.Терек в весенние и осенние периоды 2003-2005 гг., и данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ), полученных в период с 1984 по 2010 гг. со спутников Landsat 4, 5 и 7 с пространственным разрешением 30 м/пкс. При проведении наземных полевых работ использованы стандартные методы геоботаники: метод пробных площадей, геоботанических профилей и маршрутный метод. Обработка ДДЗЗ

произведена в программе ERDAS Imagine 9.1. Для сравнительного анализа были выбраны спутниковые снимки разных лет с учетом дат съемки (сходная длина светового дня), а также в соответствии с фазой гидрологического режима (проведен анализ данных по уровням и расходам воды на гидрологических постах в дельте Терека за разные годы).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные исследования показали, что в растительном покрове дельты Терека за период 1984-2010 гг. произошли значительные изменения.

На Нижне-Терских озерах выявлено расширение площади, занятой плавневыми сообществами с доминантом *Phragmites australis* L. Показано также появление древесного и кустарникового яруса в этих сообществах. В центральной части дельты показано значительное увеличение доли плавневых сообществ (особенно выражено в вершине дельты). Интересно, что в вершине дельты отмечена кардинальная смена фитоценозов. От сухостепных сообществ с доминантами *Chenopodium spp*. в травяном ярусе и *Elaeagnus angustifolia* или *Tamarix ramosissima* в древесно-кустарниковом [6], за исследованный период произошел переход к плавневым и луговым сообществам разного типа со значительным участием древесных и кустарниковых видов, приуроченным к влажным почвам (*Salix spp., Populus spp*., *Amorpha fruticosa*. и др.). Также заметна сукцессионная смена сообществ вдоль основных водотоков дельты. Отмечен переход от плавневых сообществ с исключительно травянистыми компонентами к многоярусным, включающим деревья и кустарники (Рис. 1, Рис. 2).

Территории, лежащие к западу от заливов Северный и Южный Аграхан, и удаленные от водоемов и водотоков, в настоящее время являются сухостепными районами и, отчасти, засоленными с типичной растительностью. Древесно-кустарниковые сообщества встречаются здесь в основном вдоль постоянных/временных водотоков и каналов. Доминантами являются в основном представители р. *Salix, Populus, Amorpha*. Процессы опустынивания протекали очень активно на этих территориях в период падения уровня Каспия, но, как видно на снимках, продолжаются и на фоне подъема и стабилизации уровня моря. Это подтверждают и литературные данные [6]. До 1990 г. здесь наблюдалось присутствие значительных площадей гидрофильных сообществ, существенная часть ныне сухостепных районов была обильно увлажнена и активно использовалась человеком для сельскохозяйственных нужд. До 1990 г. на этих угодьях активность вегетации была достаточно высокой на протяжении практически всего вегетационного сезона, максимум активности приходился на летний

период. По ДДЗЗ 1999-2010 гг. на сельскохозяйственных территориях заметно смещение максимума активности вегетации на весенний и осенний периоды. На степных участках, которые не использовались в качестве сельскохозяйственных угодий, отмечено два типичных максимума активности вегетации – весенний и осенний – в течение всего рассматриваемого периода, что было также показано ранее [2, 3].

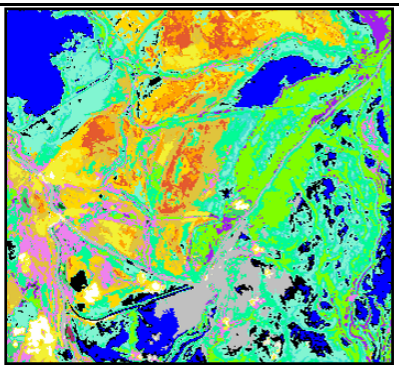


Рис. 1. Пример дешифрированного снимка 26.07.1984 г.

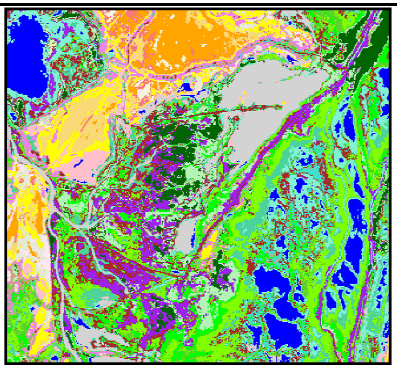


Рис. 2. Пример дешифрированного снимка 02.08.2001 г.

Условные обозначения

<30%*	Плавневые сообщества *P.australis* с разным проективным покрытием		Древесно-кустарниковые гидрофильные сообщества *Populus spp., Amorpha fiuticosa* и *Salix spp.*с участием *Elaeagnus angustifolia*
30-40%			
40-60%			
60-80%			Солончаковые сообщества
80-100%			Древесно-кустарниковые ксерофильные сообщества *Elaeagnus angustifolia*
	Сообщества *Typha spp.*		
	Сыролуговые ситниковые и камышовые сообщества		Голые перевеваемые пески
Около 5%	Пустынные сообщества с разным проективным покрытием		Прозрачная вода
5-10%			Мутная вода
10-15%	Сухостепные сообщества с *Tamarix ramosissima*с разным проективным покрытием		Облачность
15-30%			Тень от облаков (растительность не идентифицируется)
<30%			
	Древесно-кустарниковые гидрофильные сообщества *Populus spp., Amorpha fiuticosa* и *Salix spp.*		

* в этом столбце дана приблизительная оценка проективного покрытия, базирующаяся как на ДДЗЗ, так и на данных наземных исследований [2] в 2003-2005 гг.

Минимальные изменения в растительном покрове отмечены на территории Аграханского полуострова за исключением областей, примыкающих к искусственному руслу Прорези, и в прибрежных сообществах полуострова. На большей части полуострова на протяжении всего рассматриваемого периода преобладают сообщества пустынного и полупустынного типа, а также отмечены галофитные растительные сообщества, приуроченные к почвам разной степени засоления (в основном на побережье и приустьевых лагунах Новой дельты Терека, сформировавшейся после сооружения Прорези). В 1985-1995 гг. отмечено увеличение площади плавней по периферии полуострова на фоне подъема уровня Каспийского моря. В 1998-2010 гг., в условиях продолжительной стабилизации уровня моря вблизи отметки -27,0 м БС, наряду с тростниковыми отмечено мозаичное распространение солончаковых и пустынных сообществ в береговой зоне полуострова. Эти сообщества представлены большей частью пионерными видами, прежде всего доминантами *Salicornia europaea* L.*, Atriplex tatarica* L.*, Argusia sibirica* (L.) Dandy*, Xanthium spp.* и др. Эти данные подтверждаются наземными исследованиями и литературными источниками [4-6]. Зафиксировано также появление древесно-кустарниковой растительности на поверхности формирующихся устьевых кос и элементах устьевого бара Новой дельты Терека. В районе русла Прорези отмечено существенное увеличение доли гидрофильных сообществ разного типа с 1984 г. до 2010 г. На остальной территории Аграханского полуострова отмечено небольшое увеличение площади, занятой ксерофильными растительными сообществами, некоторое сокращение площади голых песков, а также изменение площадей, занимаемых разными ксерофитными сообществами.

Формирование Новой дельты у выхода русла Прорези в море приводит к появлению пионерных сообществ на вновь образовавшейся суше (прежде всего, травянистых гидрофильных, включающих споровые растения, а также ксерофильных и солончаковых на удалении от устья). По мере выдвижения Новой дельты в море, на более старых территориях отмечены первичные сукцессии фитоценозов. После заселения новых территорий пионерными видами (*P. australis, Juncus spp., Scirpus sylvestris, Xanthium spp.* и др.) отмечено увеличение видового разнообразия травянистых сообществ, а затем появление во всех сообществах древесно-кустарниковых компонентов, характерных для почв легкого гранулометрического состава (в основном представители р. *Salix* и *Amorpha)*. По берегам сформировавшихся к настоящему времени приустьевых лагун появились солончаковые сообщества с доминантом *Salicornia europaea* L. и сообщества *P. australis*. В фитоценозах, расположенных к северу и к югу от устья отмечены существенные отличия [2].

Отдельно стоит отметить летне-осенний период 2010 г., когда описанные выше изменения были выражены очень резко. В это время значительная часть плавневых сообществ *P. australis*, других гигрофитных и луговых сообществ была затоплена, что хорошо заметно, например, на акваториях Южного и Северного Аграханского заливов.

Таким образом, основные тенденции изменений в растительном покрове региона - практически повсеместное увеличение площади плавневых сообществ (Рис. 1, 2). На значительных территориях луговые фитоценозы сменились плавнями. Эта тенденция отмечена в литературе и ранее 1984 г. [4, 5]. Стоит также отметить увеличение значения древесно-кустарниковых компонентов в большинстве фитоценозов дельты.

Причины всех описанных изменений растительного покрова различны. Вследствие подъема и продолжительной стабилизации уровня Каспийского моря, в условиях повышенного стока наносов повышаются абсолютные отметки дна русла Прорези [1]. В целом за исследованный период тенденции повышения отметок дна отмечены на всем протяжении русла основного рукава. В последнее десятилетие отмечено значительное повышение стока воды и наносов в дельте Терека [1]. Эти процессы приводят прорывам вдольбереговых валов и разливу терских вод по территории дельты.

Вследствие затопления обширных территорий дельты образуются многочисленные мелководья, происходит подтопление и заболачивание прилегающих территорий, что благоприятно, прежде всего, для плавневых растительных сообществ. Также на фоне подъема и стабилизации уровня Каспийского моря отмечается появление и расширение новых аккумулятивных форм с хорошо закрепленными почвами, где могут существовать многоярусные гидрофитные и мезофитные сообщества.

Существенные изменения растительного покрова в сухостепных районах произошли, очевидно, за счет прекращения искусственного орошения земель и их возделывания под с/х культуры. Показано, что заброшенные пашни в наибольшей степени подвержены процессам остепнения и опустынивания, что также отмечают и другие авторы [6].

Большая часть вегетационного сезона 2010 г., была аномально жаркой, в летний период наблюдалась атмосферная засуха. В то же время, вследствие таяния ледников в горных районах водосбора стока Терека увеличился, значительно возросли уровни воды в дельте. Эти факторы способствовали снижению активности вегетации доминанта плавней *P. australis*, а также других видов, входящих в состав плавневых фитоценозов. Произошло также уменьшение площади плавневых сообществ, поскольку наблюдалось значительное

затопление в первую очередь именно фитоценозов данного типа и подтопление ряда других. Более полно последствия аномальных погодных условий 2010 г. можно будет охарактеризовать только в следующем сезоне, поскольку все фитоценозы обладают инерцией при реакции на внешние воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение стока воды и наносов в дельте Терека вследствие изменений гидрологического режима, прежде всего, способствует развитию плавневых сообществ и постепенному образованию закрепленного почвенного покрова, усложнению сообществ на формирующейся суше. Остепнение значительной части удаленных от водоемов территорий трудно связать исключительно с климатическими изменениями. До 1990 г. в исследуемом районе имелось большое количество орошаемых сельскохозяйственных угодий, которые затем были заброшены и, следовательно, не орошаются искусственно в настоящее время. С этой же позиции объяснимо и засоление поврежденных при возделывании почв. На Аграханском полуострове, в наименьшей степени затронутом антропогенной деятельностью, изменения растительного покрова могут объясняться как прямым действием климатических факторов, так и подъемом и стабилизацией уровня Каспийского моря. Наилучшими индикаторами климатических изменений являются плавневые и пустынные сообщества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Землянов И.В., Горелиц О.В., Поставик П.В., Павловский А.Е., Сапожникова А.А.. Современные тенденции развития дельты Терека // Труды ГОИН. – Вып.210, Москва, изд. «Артифекс». 2007г. С.253-264.
2. Козлова М.В. Краткое рекогносцировочное геоботаническое описание устьевых областей рек Терек и Сулак. // Гос. Океаногр.ин-т, - М., 2003, 11 с., ил. 5, библиогр. 9. - Деп.ВИНИТИ.
3. Козлова М.В. Сезонная динамика растительности как индикатор водного режима дельты Терека. // Труды ИПГ им. Федорова, Вып.86. Москва. 2008. С.120-124.
4. Кравцова В.И., Илюхина Ю.А. Динамика восточной части устьевой области Терека в период подъема уровня Каспия: картографирование по аэрокосмическим материалам//Водные ресурсы. 2002. Т. 29, №1, с. 49-61.
5. Лепехина А.А. Биология видов растений и характеристика растительных сообществ Дагестана в плане рационального использования растительных ресурсов. Махачкала, 1977. 212 с.
6. Юсуфов С. К., Алиев И. А. Динамика почвенно-растительных комплексов береговой зоны Каспийского моря // Фундаментальные исследования, №8, 2006 г., с. 40-41.

УДК 629.782.519.711

РАСЧЕТ ЭМИССИЙ И ЗАХОРОНЕНИЯ УГЛЕРОДА ПРИ НЕЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТОПЛИВА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.В. Кузовкин

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

Kuziashagrath85@mail.ru

ТРЭНИТ-модель, захороненный углерод, выброшенный углерод, парниковый газ, Киотский протокол, NEAT-model

ВВЕДЕНИЕ

Один из главных источников поступления парниковых газов в атмосферу связан с использованием ископаемого топлива. Сжигание ископаемого топлива определяет до 90% всех эмиссий углекислого газа. Однако, помимо сжигания существуют также и другие варианты использования ископаемого топлива и его вторичных продуктов, приводящие к накоплению или захоронению углерода. Это – во-первых, неэнергетическое использование топлива, связанное, с использованием растворителей и других продуктов, а, во-вторых, использование топлива в качестве сырья в промышленном производстве. Углерод, содержащийся в топливе, при неэнергетическом использовании частично выбрасывается атмосферу, частично накапливается.

В руководящих принципах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), являющихся основным методологическим руководством для разработки национального кадастра выбросов парниковых газов, предложен подход для расчета накопленного углерода с использованием универсальных коэффициентов захороненного углерода. Однако подобный подход имеет много неточностей и приближений, связанных с национальной спецификой различных стран и использований различных технологий производства и неэнергетического применение топлива.

Для более точного расчета эмиссий CO_2 при неэнергетическом использовании топлива была создана модель таблиц расчетов эмиссии неэнергетического использования топлива (ТРЭНИТ-модель) в рамках деятельности Международной сети экспертов по расчету эмиссии CO_2

и неэнергетического использованию топлива (NEU-CO_2). Модель основана на балансе потока углерода нефтехимического сектора.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ТРЭНИТ-МОДЕЛИ

Принцип работы ТРЭНИТ-модели более подробно описан в работах [1,2]. Основной механизм его состоит в следующем. Рассчитывается выбросы и захоронение углерода при неэнергетическом использовании ископаемого топлива, а затем из общего имеющегося в стране топлива вычитается его захороненная часть и его неэнергетическая составляющая.

Часть углерода, содержащаяся в первоначальном сырье, используемая в нетопливных целях, непосредственно окисляется до углекислого газа во время производственной стадии, приводя к промышленным выбросам. Наиболее важные процессы, относящиеся к подобным – производство аммиака, метанола и технического углерода. В производстве металлов сырье, содержащее углерод, также используется, например, для производства анодов в алюминиевой промышленности. ТРЭНИТ-модель содержит модуль для расчета эмиссии углекислого газа от используемого сырья для промышленности. Производство и использование угольных коксов в производстве чугуна в чушках ислючены, т.к. предполагается, что данные процессы уже учтены в энергетическом секторе и поэтому не являются частью использование сырья в неэнергетических целях.

Для расчета эмиссий при использовании химических элементов и растворителей используется 77 наиболее важные химических элементов, 22 из которых базовые и 55 промежуточные и конечные продукты. С помощью углеродного баланса все продукты разделяются на «окисляемые в процессе использования» (ОПИ) и «неокисляемые в процессе использования» (НОПИ). Более подробно принцип работы этого метода объяснен на примере производства этилена, структура которого приведена на рис. 2. В этом примере этилен используется для производства полиэтилена. Остающийся этилен используется для производства других продуктов, которые в данной модели не рассматриваются. Цель составления баланса углерода состоит в том, чтобы отнести потребление производных этилена к одной из категорий: «окисленных в процессе использования» (ОПИ) и «не окисленных в процессе использования» (НОПИ). Соотношение ОПИ к НОПИ для этих продуктов было взято из литературных источников [5,6].

СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ МГЭИК

Оценка неэнергетического использования топлива (в эквивалентах CO_2), рассчитанная ТРЭНИТ-моделью, полностью основана на статистике производства и поэтому независима от оценки неэнергетического использования, сделанного согласно топливно-энергетическому балансу (ТЭБ) и примененного в МГЭИК. Сравнение неэнергетического использования, полученного ТРЭНИТ-моделью, и оценкой, сделанной согласно ТЭБу, может преследовать несколько целей:

1) Сравнение – это проверка на последовательность и законченность ТРЭНИТ-модели. Если, например, результаты ТРЭНИТ-моделирования явно ниже оценки, сделанной согласно ТЭБу, это может быть признаком того, что статистические данные производства, используемые в модели, неполны.

2) Сравнение показывает, какие исходные данные включены, а какие не включены в неэнергетическое использование. Особенно это актуально для парового крекинга. Сравнение между результатами ТРЭНИТ-моделирования и ТЭБом может помочь в понимании, включен ли паровой крекинг в неэнергетическое использование или нет.

3) Сравнение может помочь идентифицировать сбор данных относительно неэнергетического использования в ТЭБ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В расчетный части был сделан расчет выбросов за 1998-2008 года. Для расчетов были взяты данные Центральной базы Статистических данных (ЦБД) [8], данные таможенной статистики [11], данные национального кадастра [10], представленные в РКИК ООН [9].

Следует отметить особенности использования данной модели. Во-первых, в модели используются данные по производству, экспорту и импорту 77 химикатов. Т.к. ЦБД и таможенная статистика обладают весьма ограниченной информацией, в тех случаях, когда данные о производстве, а также торговле товарами были неизвестны, эта информация была оценена. В случае отсутствия статистической информации было сделано предположение, что производство химических продуктов в РФ аналогично производству химических продуктов в Германии. Также была сделана небольшая поправка на расчет выбросов при производстве минерального сырья и выбросов при производстве стали и чугуна. Результаты расчетов представлены в таблице 1. Как видно из таблицы, отличие расчетов выбросов углекислого газа при использовании Секторного и Базового Подхода

находится в пределах 4 - 8%, отличие секторного подхода от расчетов, сделанных на базе результатов ТРЭНИТ-модели – 1- 4 %. Это говорит о том, что оценка, сделанная согласно ТРЭНИТ-моделированию показывает значительно лучшие результаты, чем оценка, сделанная с помощью Базового Подхода, опираясь на стандартные коэффициенты.

ВЫВОДЫ

Последняя версия ТРЭНИТ-модели была адаптирована для ряда стран (Корея, Германия, Италия, Нидерланды) и показала довольно успешные результаты. В России данная модель используется впервые, однако результаты предварительного расчета по выбросам показали перспективность ее применения в российских условиях. Отличие в 1 % в расчетах может быть объяснено недостаточным количеством информации по производству химических продуктов.

Таблица 1

Сравнения оценок выбросов согласно ТРЭНИТ-модели, МГЭИК-БП и МГЭИК-СП за 1997-2008 год

Способ подсчета \ год	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
МГЭИК-БП, Мт CO_2	1422	1382	1403	1406	1403	1389	1423	1415	1416	1434	1427	1477
МГЭИК-СП, Мт CO_2	1326	1310	1329	1319	1335	1325	1349	1343	1342	1388	1375	1425
ТРЭНИТ-модель, минимум, Мт CO_2	1374	1339	1339	1339	1330	1316	1340	1317	1332	1369	1347	1403
ТРЭНИТ-модель, максимум, Мт CO_2	1385	1351	1351	1350	1342	1331	1355	1334	1342	1386	1365	1418
Разница между МГЭИК-СП и МГЭИК-БП,%	7,2	5,5	5,5	6,6	5,1	4,8	5,4	5,4	5,5	3,4	3,8	3,7
Разница между МГЭИК-СП и ТРЭНИТ,%	3,6-4,4	2,2-3,1	0,7-1,6	1,5-2,3	0,3-0,5	0,4-0,6	0,4-0,6	0,6-1,9	0,8	0,1-1,3	0,7-2	0,5-1,5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gielen, D.J., and Patel, M.K., The NEAT model, non-energy use emissions accounting tables, in Proceeding of the first NEU-CO_2 workshop, Paris 23-24 september 1999 (downloadable at http://www-n.chem.uu.nl/nws/www/nenergy/)
2. Gielen, D. and Yagita, H., 2002. Carbon accounting for Japanese petrochemicals. J. Mater. Cycles Waste Manag., 4: 51-61
3. SBSTA (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice): Report of the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice on its Tenth Session, Addendum: Draft Decision on Guidelines for the Preparation of National Communications by Parties Included in Annex I to the Convention. Part I: UNFCCC Reporting Guidelines on Annual Inventories. Bonn, 31 May – 11 June 1999;
4. Marland, G. and Rotty, R.M., 1984: Carbon dioxide emissions from fossil fuels: a procedure for estimation and results for 1950-1982, Tellus, Vol. 36B, 4:232-261
5. Центральная База Статистических данных (http://www.gks.ru)
6. (http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4771.php
7. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2008 гг.
8. Таможенная статистика внешней торговли российской федерации за 1998-2008 года

УДК 502.06

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ

И.Н. Кунаев

Российский университет дружбы народов, г.Москва

Sniper-33@yandex.ru

Ключевые слова: Магистральный нефтепровод, авария, экологические последствия, оценка последствий.

ВВЕДЕНИЕ

Трубопроводный транспорт является важной подотраслью нефтяной промышленности. На сегодняшний день сформировалась развитая сеть магистральных нефтепроводов, которая обеспечивает поставку более 95% всей добываемой нефти при средней дальности перекачки 2300 км. При такой значимости трубопроводного транспорта возникает вопрос о его безопасности для окружающей среды. [1]

Актуальность проблемы обусловлена серьезной угрозой экологической безопасности в результате аварийных загрязнений окружающей среды.

Цель работы – обоснование «модельной аварии» на магистральном нефтепроводе как основы для прогноза масштабов загрязнения компонентов окружающей среды (ОС).

***Задачи*:**

- анализ основных экологических проблем, возникающих вследствие аварийных разливов нефти на магистральных, внутри- и межпромысловых нефтепроводах;
- оценка проблем планирования ликвидации последствий аварийных разливов, проблем оценок рисков аварий и объемов разливов;
- расчет среднестатистических значений аварийных разливов нефти на магистральных нефтепроводах, а также площадей загрязнения, создаваемых данными разливами; [3]
- обоснование границ среднестатистической аварии на магистральном трубопроводном транспорте в целях прогнозирования масштабов загрязнения. [2]

В работе рассчитываются значения «средней аварии» по статистическим данным, а также ее параметры, анализируется воздействие среднестатистической аварии на объекты ОС: почва, атмосфера, водные системы, флору и фауну, а также определяется ущерб от возможного разлива.

Новизна работы заключается в применении авторского подхода к прогнозу последствий разливов нефти с учетом «средней» аварии, а также в выборе инструментов проведения работы. В частности, был использован созданный на кафедре прикладной экологии экологического факультета РУДН в*иртуальный тренажерный комплекс по экологической безопасности (ликвидация последствий аварий на нефтепроводах)*.

Практическая значимость работы: полученные данные могут быть использованы для координации работ по планированию и ликвидации аварийных ситуаций на трубопроводном транспорте нефти, а также при оценках экологических последствий возможных аварий.

ОБОСНОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКОЙ АВАРИИ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ

Расчет параметров ***среднестатистической аварии*** на МН производился:

- расчетом среднестатистических данных;
- по «Методике определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах» (утверждена Минтопэнерго РФ от 1 ноября 1995 г.);
- по «Основным требованиям к разработке планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» (утверждены Постановлением Правительства РФ от 3 августа 2000 года № 613).

Расчет *среднестатистических данных* использовался для определения: средних значений аварийности, массы разлива и площади разлива. Использовались математические функции нахождения среднего; в зависимости от параметров рассчитывалось либо среднее математическое, либо медиана, либо мода. Значения всех параметров имеют обязательный доверительный интервал, что необходимо для определения достоверности данных.

Для расчетов *негативного экологического воздействия*, в частности, загрязнения воздуха, воды и почвы использовалась «Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах» (утв. Минтопэнерго РФ 1 ноября 1995 г.) [4].

Для определения *технических характеристик разлива* (например, время обнаружения утечки), наряду с вышеуказанной методикой использовались «Основные требованиям к разработке планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» (утв. Постановлением Правительства РФ от 3.08.2000 № 613).

Экологические оценки опасности требуют наличия данных, связанных с территориальной привязкой места аварии. Для этих расчетов в качестве репрезентанта моделируемого участка выбраны территории среднего Поволжья, в частности, Самарская область. Выбор обусловлен большой плотностью МН и климатическими условиями, позволяющими в полной мере отобразить последствия аварии (отсутствие мерзлотных почв).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. *Наибольшая доля причин аварий* на МН России связана с внешними воздействиями на трубопровод вследствие несанкционированных врезок (рис. 1). В этой связи среди основных организационных мероприятий по уменьшению риска, следует выделить необходимость охраны трубопроводов от лиц, совершающих несанкционированные врезки, и строгого соблюдения порядка согласования со сторонними организациями проведения работ в охранной зоне трубопроводов.

Рис. 1– Распределение аварийности на нефтепроводах по причинам

2. *Средняя аварийность* на магистральных нефтепроводах России за период с 1985 по 2009 г., определенная статистическим методом, составляет 0,26 аварий на 1000 км/год, с доверительным

интервалом (0,07 ÷ 0,45) вероятностью 95,4% (рис. 2). Это в 7 раз выше цифры из официальных источников, утверждающих, что средняя аварийность на МН не превышает 0,04 случая на 1000 км/год. [5]

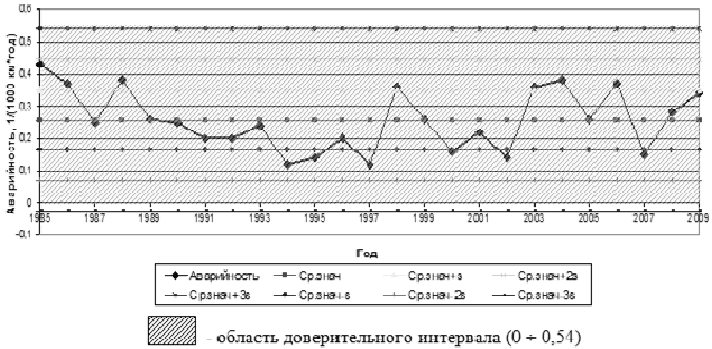


Рис. 2 – График аварийности на магистральных нефтепроводах с 1985 – 2009 гг.

3. *Среднестатистическая масса разлива* на МН РФ за период с 1985 по 2009 гг. составляет 27,4 т с доверительным интервалом (4 ÷ 196) с 65% вероятностью.

4. *Среднестатистическая площадь разлива* на МН РФ за период с 1985 по 2009 года составляет 773 м^2 с доверительным интервалом (100 ÷ 6030) с 65% вероятностью.

5. Между массой разлива и площадью загрязнения существует *прямая квазилинейная связь* (коэффициент корреляции 0,6) с коэффициентом соотношения 1/40 (α = 1,5º), т.е. 1 м^3 нефти загрязняет 40 м^2 территории (рис. 3).

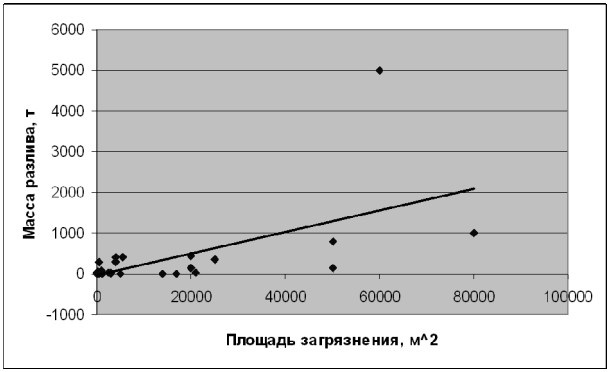


Рис. 3 – График зависимости площади загрязнения от массы разлива с линией тренда

6. Теоретически рассчитанное *максимальное время обнаружения утечки* меняется от 5 часов для 212 мм МН до 10 минут для 1220 мм МН. Оно уменьшается с увеличением диаметра, что связано с ростом объема перекачки нефти при увеличении диаметра трубопровода.

7. *Воздействие на ОС* при среднестатистической аварии включает:

- в атмосферу испаряется 1,8 т. легких фракций нефти;
- в почву впитывается 13,3 т. нефти (15,2 $м^3$ при $\rho = 0{,}88$ т/ $м^3$), что приводит к загрязнению 54,1 $м^3$ почвенного покрова; уровень загрязнения земель нефтью – очень высокий, т.к. ее содержание в первом метре почвы составляет более 5000 мг/кг, а в первых 10 см – более 100 г/кг;
- изменение экологической обстановки приводит к подавлению фотосинтезирующей активности растительных организмов; неустойчивое развитие может продолжаться несколько лет, поскольку доза загрязнения составляет 36 л/$м^2$.

8. Методика определения платы за загрязнение земель нефтепродуктами по «Методике определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах» не является корректной, поэтому расчет платы за загрязнение земель производился исходя из стоимости выведения с/х земель из использования. *Плата за загрязнение ОС при среднестатистическом разливе нефти* составляет 107 564 рубля.

9. Необходимо отметить, что площадь загрязнения поверхности суши по «Методике определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах» оценивается без учета рельефа местности, типа грунта, температуры окружающей среды, а также физических характеристик нефти, что не дает полной картины о действительном состоянии нефтяного загрязнения. *Необходимо усовершенствовать методику*, т.к. определение верной площади вероятностного загрязнения важно для анализа рисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. – М.: Иноктаво, 2005. – 368 с.

2. Мартьянова А.Е. Математические методы моделирования в геологии. Часть II: Учебное пособие для студентов направления 650100 «Прикладная геология». – Астрахань: АГТУ, 2008. – 190 с.

3. Хаустов А.П., Редина М.М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. – М.: Дело, 2006. – 445 с.

4. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах / Колл. авторов. — утв. Минтопэнерго РФ от 1 ноября 1995 г.
5. Аварийность на магистральных нефтепроводах ОАО "АК "Транснефть" в 5-6 раз больше заявляемой: Эксперт Международного социально-экологического союза [Электронный ресурс]: Информационное агентство «Regnum». – URL: http://www.regnum.ru/news/682365.html (дата обращения: 25.05.2010).

УДК 551.577.5+551.510.42

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Е.И. Куртеева

Северное межрегиональное территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Архангельск

ecopp@yandex.ru

Ключевые слова: Снежный покров, прибрежная зона, Арктика, химический состав, дальний перенос.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования последних лет показали, что в северных широтах в загрязнении природной среды большую роль играет перенос загрязняющих веществ воздушными массами. Различные загрязнители обнаружены на расстояниях, удаленных на сотни и тысячи километров от источников выбросов [3].

Одним из направлений оценки состояния окружающей среды является мониторинг загрязнения снежного покрова. Поступление загрязняющих веществ в снежный покров происходит как в процессе вымывания осадками, так и сухого выпадения [1]. В результате чего химический анализ проб снежного покрова позволяет дать более полную оценку состояния атмосферы, чем при анализе атмосферных осадков. Вымывая вещества из атмосферы и фиксируя их в своей толще, снежный покров становится интегральным накопителем химических веществ, содержащихся в атмосфере за весь снежный период года, включая и вещества, привнесенные с других территорий в результате дальнего переноса.

Вследствие этого снежный покров может быть использован в качестве индикатора общей загрязненности атмосферы.

Климатические характеристики территории Севера, такие как длительный период залегания снежного покрова, интенсивная циклоническая циркуляция в период формирования снежного покрова, благоприятны для использования снежного покрова в оценке состояния атмосферы.

Объектом настоящего исследования является снежный покров прибрежной зоны западного сектора Арктических морей.
Предмет исследования – процесс формирования загрязнения снежного покрова прибрежной зоны западного сектора Арктических морей.
Цель исследования состоит в выявлении общих закономерностей и региональных особенностей поступления поллютантов в снежный покров с учетом местных источников загрязнения и дальнего переноса.
Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Составление базы данных химического состава снежного покрова на территории деятельности Северного и Мурманского управлений гидрометеослужбы.
2. Корреляционный анализ данных загрязнения снежного покрова.
3. Установление основных путей поступления загрязняющих веществ в исследуемые районы на основе данных корреляционного анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящее исследование проводилось на основе данных государственного мониторинга окружающей среды на территории деятельности Северного и Мурманского управлений гидрометеослужбы, которые включают результаты химического анализа проб снежного покрова 43 прибрежных и островных гидрометеорологических станций Белого, Баренцева и Карского морей за период с 1988 г. по 2008 г. (рис.1). В качестве фоновой точки была выбрана станция Сура, расположенная вне зоны влияния промышленных предприятий и прямого воздействия морской среды на границе Архангельской области и Республики Коми.

В пробах снежного покрова определялись концентрации девяти макрокомпонентов: сульфатов, нитратов, хлоридов, гидрокарбонатов, ионов аммония, магния, натрия, кальция и калия, а также уровень кислотности.

С целью установления связей между содержанием элементов в снежном покрове был выполнен корреляционный и статистический анализ.

Корреляционный анализ включал построение матриц коэффициентов корреляции между концентрациями веществ. Степень близости корреляционной связи поллютантов определялась с использованием вербально-числовой шкалы Харрингтона (табл.1).

Таблица 1

Шкала Харрингтона [2].

№	Коэффициент корреляции	Степень близости связи	Характер связи	Ранг
1	0,00 – 0,20	Незначительная	Прямая	1
2	0,21 – 037	Низкая		2
3	0,38 – 0,64	Средняя		3
4	0,65 – 0,80	Высокая		4
5	0,81 – 1,00	Очень высокая		5
6	-1,00 – -0,81	Очень высокая	Обратная	-5
7	-0,80 – -0,65	Высокая		-4
8	-0,64 – -0,38	Средняя		-3
9	-0,37 – -0,21	Низкая		-2
10	-0,20 – 0,00	Незначительная		-1

Для оценки величины разброса значений концентраций были рассчитаны основные статистические показатели: среднее максимальное и минимальное значения, медиана, значения, разность отклонений, дисперсия, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Рис.1. Схема расположения станций отбора проб снега. Числами на схеме обозначены станции:1-Зашеек, 2-Зареченск, 3-Ковда, 4-Кандалакша, 5-Умба, 6-Каневка, 7-Краснощелье, 8-Апатиты, 9-Ена, 10-Ковдор, 11-Мончегорск, 12-Ловозеро, 13-Падун, 14-Туманная, 15-Териберка, 16-Ура-губа, 17-Полярное, 18-Мурманск, 19-Кола, 20-Никель, 21-Янискоски, 22-Верховье Лотты.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам выполненного анализа было установлено, что концентрации химических веществ в пробах снега не зависят от высоты снежного покрова.

Как и предполагалось вследствие влияния морских аэрозолей, в прибрежной зоне прослеживается тесная связь между концентрациями натрия и хлоридов, а также наличие здесь высокой корреляции данных веществ с сульфатами. В районе мыса Сопочная Карга определен отрицательный коэффициент корреляции натрия с сульфатами и хлоридами, что предполагает поступление данных кислотообразующих веществ от антропогенных источников.

Тесная связь между содержанием в снежном покрове магния и хлоридов, говорит о поступление магния со стороны моря, что подтверждается незначительным содержанием данного иона в пробах станции Сура.

На большей части территории прослеживается тесная связь калия с хлоридами, что говорит о преимущественно «морском» его поступлении. Данный факт подтверждается наличием высокой корреляции калия с натрием на тех станциях, где прослеживается высокая связь хлоридов и ионов натрия.

В общем случае связь между нитратами и содержанием в снежном покрове других веществ незначительная.

В районе станций Северный Колгуев, Шойна, Белый Нос, Марресаля, Канин Нос, о-в Кренкеля имеется очень высокая и высокая корреляция нитратов с ионом аммония и гидрокарбонатами, что свидетельствует о поступлении данных веществ с территории суши.

В районе станции Сура, не подверженной воздействию морских аэрозолей и влиянию промышленности, связь между концентрациями веществ имеет преимущественно незначительную степень.

Статистический анализ концентраций веществ в снежном покрове показал их большую межгодовую изменчивость по всем без исключения элементам.

Достаточно высокая величина коэффициента вариации указывает на значительно большой разброс значений концентраций веществ в пробах. Данный факт может быть обусловлен непостоянством поступления данных веществ, вызвано, в том числе, воздействием дальнего переноса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В период с ноября по январь на территории формируются основные запасы снега, в связи с чем преобладает вымывание веществ

из атмосферы. В остальные месяцы предполагается преобладание сухого осаждения.

Формирование химического состава снежного покрова на исследуемой территории происходит под влиянием природных и антропогенных факторов. Природное соотношение между отдельными элементами в снежном покрове разных районов различно. Антропогенное загрязнение может значительно увеличивать обогащение снега отдельными элементами.

В прибрежных и морских районах происходит обогащение снежного покрова натрием и хлоридами. Повышенные концентрации сульфатов, обусловленные влиянием моря, фиксируются в прибрежных зонах Баренцева и Белого морей. При этом все же прослеживается вклад антропогенных источников в загрязнение снежного покрова сульфатами.

Существенный разброс статистических характеристик и значений концентраций веществ указывает на пространственную и временную неоднородность химического состава снежного покрова, многофакторность процесса формирования загрязнения снежного покрова на данной территории.

Дальнейшее исследование предполагает построение обратных траекторий поступления воздушных масс на исследуемую территорию.

Конечной целью исследования предполагается оптимизация системы мониторинга загрязнения снежного покрова в прибрежной зоне.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор признательна сотрудникам ГУ «Архангельский ЦГМС-Р», принимавшим участие в сборе фактического материала, а также руководителю Мурманского УГМС А.В. Семенову за предоставленные данные по территории Мурманского УГМС.

Автор благодарит В.Б. Коробова и В.П. Шевченко за руководство и ценные советы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко В.Н., Назаров М.Н., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985.
2. Коробов В.Б. Экспертные методы в географии. – Архангельск: Поморский университет, 2008.
3. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. – М.: Наука, 2006.

УДК 651.529

РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ НА СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ЧЕРЕЗ 20 ЛЕТ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Д.А. Манзон

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

dmanzon@mail.ru

Ключевые слова: цезий-137, радиоактивное загрязнение, гамма-спектрометрия

ВВЕДЕНИЕ

В 2009-2010 гг. для оценки скорости и значимости вертикальной и горизонтальной миграции ^{137}Cs за 20-летний период лабораторией ИГКЭ был проведён радиационный мониторинг и послойный отбор проб на территории Среднерусской возвышенности.

После формирования поле загрязнения начинает жить в ландшафте и изменяться не только под действием радиационного распада. По данным натурных исследований, проведённых через 2 года после аварии на ЧАЭС на различных типах почв в 30-км зоне загрязнения, было установлено, что доля необменных форм ^{137}Cs изменяется от 82 до 99%. Ранее, в работах Ю.А. Израэля (1973г, 1974г.) был установлен ряд относительной растворимости радиоактивных изотопов в соответствии с которым ^{137}Cs черезвычайно плохо переходит в водный раствор и, если принимать значение коэффициента растворимости ^{90}Sr за единицу, то растворимость ^{137}Cs составит 0,02 от него. [2] Большая часть экспериментальных и мониторинговых данных относится к точкам, характеризующим отдельные типы ландшафтов, либо типы почв (пески, суглинки, и т.д.). В данной работе вертикальная и горизонтальная миграция цезия-137 определялась на непрерывном профиле (трансекте) от водораздела до подножия склонов, а также на отдельных участках днищ речных долин. При этом профили располагались как на ненарушенных, так и на антропогенно изменённых участках. [3]

МЕТОДИКА ОТБОРА ПРОБ

При выборе места положения трансектов учитывались различные типы растительности и почвенного покрова.

Каждая точка на профиле обследовалась несколькими способами:

Отбор проб почвы из опорных разрезов: пробы, содержащие фрагмент почвенного горизонта размером 15 ^{x} 15см отбирались, как правило, до общей глубины около 20см (почвенный слой, в котором обычно содержится более 70 % полного запаса ^{137}Cs).

Отбор интегральных почвенных образцов проводился при помощи пробоотборника по слоям 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 и 20-25 см в фиксированной «геометрии».

В качестве вспомогательных средств при измерениях на местности использовались портативные дозиметры. Измерения мощности дозы проводились для контроля вариабельности поля загрязнения при радиационном мониторинге. [1]

Достоинством такого методического подхода является то, что он, при наборе большого числа измерений в границах элементарного ландшафта, даёт возможность при осреднении этих значений охарактеризовать загрязнение выделенного ландшафта с достаточно высокой надежностью.

Поскольку профили закладывались на участках с разной плотностью загрязнения, вариабельность концентрации цезия-137 в верхних точках трансекта изменялась от 3 до 14 Ки/км^2.

ТОЧКИ ОТБОРА ПРОБ

Особенности долинно-балочного расчленения Среднерусской возвышенности заключаются в сочетании сравнительно пологих склонов междуречий и крутых выпуклых придолинных и прибалочных склонов. Площади пахотных земель занимают более 65-70% от общей площади и водосборов, поэтому в пределах ряда малых водосборов распаханы сравнительно крутые в нижних частях склоны.

Для изучения процессов миграции ^{137}Cs в типичном ландшафтном сопряжении Среднерусской возвышенности была исследована площадка водосбора ручья Становой, впадающего в р.Оптуху, бас.верхней Оки (центральная часть Орловской обл., близ д.Становой Колодезь)(рис.1).

На водосборе по причине значительного количества почвенного материала, вовлекаемого в перераспределение, отчетливо просматриваются результаты процессов смыва-аккумуляции. Размещение точек отбора проб вдоль склонов от водораздела к долине позволили охарактеризовать массоперенос в пределах

обрабатываемого и необрабатываемого склонов. По архивным данным уровни в данном месте характеризовались значением 370 ± 110 кБк/м^2 (10±3 Ки/км^2) в 1993 г. Водоразделы и склоны междуречий распаханы и используются под коллективные поля зерновых, долина в хозяйстве не используется.

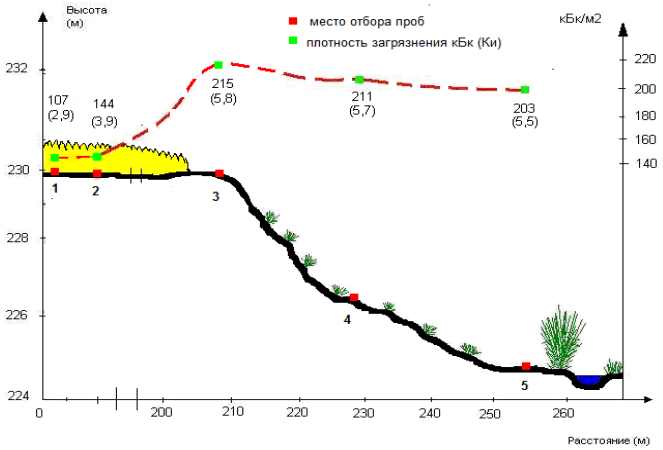


Рис.1. Изменчивость плотности загрязнения 137Cs сопряженных ландшафтов площадки «Становой Колодезь», Орловская обл. Средняя плотность загрязнения по площадке – 174 кБк/м^2 (4,7 Ки/км^2).

На распаханной части склона идентифицирован чернозем типичный окультуренный (чернозем миграционно-мицелярный окультуренный). Плотности загрязнения в большинстве точек на пашне колеблются в пределах 111-148 кБк/м^2 (3-4 Ки/км^2), что ниже уровней зафиксированных для точек в балке и на ее склонах. Некоторое понижение плотности загрязнения на пашне (на 30 % ниже средней плотности загрязнения по площадке) по сравнению с нераспаханной частью склона (на 5 % выше средней плотности загрязнения по площадке) обусловлено как потерей почв с результате смыва, и некоторой потерей активности, вынесенной с урожаем. Распределения ^{137}Cs по глубине свидетельствуют, что после выпадения радионуклида почва подвергалась распашке. Для нижней 15-25 см толщи в большинстве точек содержится около 20-40% от общего запаса. Вниз по склону запас ^{137}Cs постепенно увеличивается от привершинной части к напаши, однако, содержание его в нижней части пахотного горизонта уменьшается до 20-30%, что может говорить об интенсивном переносе почвы в пределах пашни.

ПЛОЩАДКА «ЛОКНА»

Площадка на водосборе малой р.Локны близ д.Рахманово Плавского района Тульской области также представляет собой типичное для Среднерусской возвышенности сопряжение ландшафтов(рис.2).

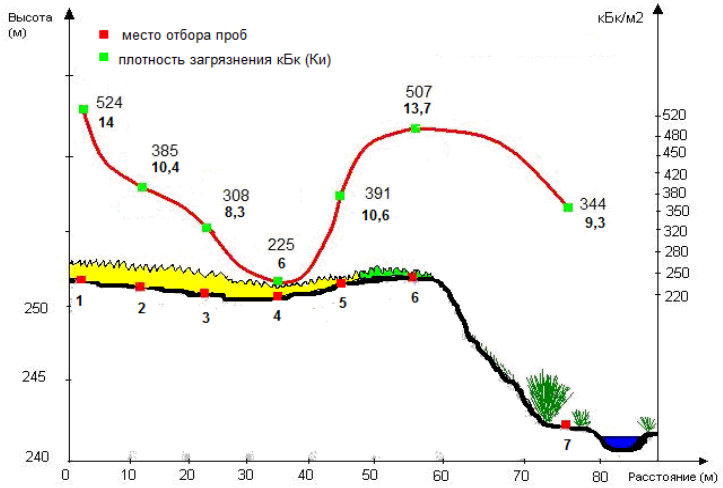


Рис.2. Изменчивость плотности загрязнения ^{137}Cs в сопряженных ландшафтах площадки «Локна», Тульская обл. Средняя плотность загрязнения по площадке – 383 кБк/м^2 (10,4 Ки/км^2)

Р.Локна относится к бассейну средней Оки. Почвы на распаханном под зерновые водосборе– черноземы выщелоченные окультуренные. По архивным данным загрязнение в данном месте характеризовалось максимальными для Тульской области значениями 555±110 кБк/м^2 (14±3 Ки/км^2) в 1993 г.

В привершинной плоской части водосбора уровни загрязнения максимальны в катене. От этой точки пробы отбирались вниз по склону. Ниже его перегиба наблюдаются минимальные значения –225 кБк/м^2 (6,1 Ки/км^2).

Склон долины задернован и надежно тормозит смыв с пашни. На пойме уровни изменяются от 181 кБк/м^2 (4,9 Ки/км^2) на ее влажной части до 414 и 440 кБк/м^2 (11,2 и 11,8 Ки/км^2) – в ивняке и на суходольной части поймы. Почвы аллювиальные дерново-глееватые и дерново-глеевые слоистые. Профили вертикального распределения ^{137}Cs неровные с максимумом на глубине 6-8 см в перегнойном

горизонте, представляющим биохимический, сорбционный и механический барьер.

Общий запас ^{137}Cs в почвах ландшафтов малого водосбора меняется в зависимости от работы смыва и переотложения наносов – в диапазоне 220-520 кБк/м^2 (6-14 Ки/км^2). В пойменных почвах с различной степенью гидроморфности из верхнего 5-см слоя вынесено от 25 до 32 % общего запаса. Эти почвы с периодически-застойным водным режимом обладают заметной способностью переносить ^{137}Cs из верхних горизонтов в более глубокие и тем самым очищать почвы от поверхностного загрязнения. Гидроморфные почвы в период сезонного переувлажнения отличаются миграцией ^{137}Cs, сорбированного коллоидными частицами гидроокиси железа**,** алюминия и кремния, а также комплексными органо-минеральными соединениями.

ВЫВОДЫ

Анализ вертикальных профилей показал, что вне зависимости от типов почвы, глубинное распределение ^{137}Cs происходит в верхнем 20-ти сантиметровом слое почвы с максимальным значением в 5-15 см от её дневной поверхности.

Анализ результатов исследований горизонтальных профилей (протяжённостью от 70 до 150м), охватывающих водораздельную, склоновую и прируслову часть водосборов, показал, что, как правило, основная масса перемещаемого ^{137}Cs накапливается в нижней позиции профиля.

В результате полевых исследований установлено, что в бассейнах малых водосборов при перераспределении ^{137}Cs горизонтальная миграция радионуклида в почве имеет значительно большее влияние, чем вертикальная.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю.А., Имшенник Е.В., Квасникова Е.В.. – Радиоактивное загрязнение территории России глобальными выпадениями от ядерных взрывов и чернобыльскими выпадениями. Карта по состоянию на 90-ые годы XX века. Международная конференция «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях», 2000 г.

2. Израэль Ю.А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий, - Прогресс-погода 1996 г.

3. Квасникова Е.В., Пегоев А.Н., Стукин Е.Д. - Современный радионуклидный состав чернобыльских выпадений на разном удалении от места аварии. Международная конференция «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях», 2000 г.

УДК 532.5.013

РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК Р. УНЖА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА HEC-RAS

А.А. Сапожникова

Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва

ASapozhnikova@mail.ru

Ключевые слова: математическое моделирование, установившееся движение, подпор

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время практика модельных расчетов с успехом применяется для исследований и анализа гидрологического режима в рамках проведения мероприятий по информационному обеспечению в области водных ресурсов.

Необходимость моделирования движения в речных системах связана с наличием ряда задач, которые формулируются в сфере развития водохозяйственного строительства и связанные с ним задачи управления водными ресурсами:

- определение гидродинамических параметров речных систем, необходимых при проектировании и эксплуатации водохозяйственных сооружений;
- расчет и прогноз половодья и паводков;
- оценка изменений режима рек в результате хозяйственной деятельности человека.

Но отметим, что существуют ограничивающие факторы, такие как: отсутствие наблюдательной сети и регулярных экспедиционных исследований на водных объектах, - которые создают проблему в создании точной модели.

ОБЪЕКТ И ЦЕЛЬ

Объектом исследования в работе является устьевой участок р. Унжа протяженностью 47,5 км с шириной в верховьях около 400 м, в нижнем течении, в месте впадения ее в Горьковское водохранилище около 5800 м. Правый берег реки высокий с множеством населенных пунктов. Левый берег пойменный. Рассматриваемый участок находится в зоне влияния водоприемника. Но поскольку это русловое водохранилище, то его водный режим близок к режиму речного стока.

Целью работы является оценка гидравлических параметров естественного русла р. Унжа на основе применения компьютерной модели.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Р. Унжа мало изучена в гидрологическом отношении, и поэтому одной из основных задач математического моделирования речного потока является разработка схемы управления водными ресурсами, включая прогноз прохождения паводка. Для принятия решений по пропуску дождевых паводков и половодий высокой водности необходима постоянная оценка динамики уровневого режима в зависимости от прогнозных или фактических данных о расходах воды на гидростворах.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ РЕЧНОГО УЧАСТКА

Для выполнения одномерных гидравлических расчетов была использована компьютерная программа HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center’s River Analysis System), разработанная центром инженерной гидрологии США [2].

Основной расчет основывается на решении уравнения энергии в условиях одномерного движения, учитывая движение речного потока в основном русле и в пойме.

Процесс создания модели реки состоит из разработки схемы речной системы, ввода данных поперечного сечения и построения профиля поперечного сечения, ввода данных потока и граничных условий, построения кривой свободной поверхности, калибровки модели и выполнении гидравлических вычислений. Принцип гидрологических расчетов программой HEC-RAS основывается на решении уравнений для установившегося и неустановившегося движения воды. Для создания математического аналога естественного водотока (р. Унжа) были заданы параметры потока в меженных условиях, когда движение условно можно считать установившимся.

Точность модельных расчетов, в первую очередь, определяется наличием морфометрических данных, которые задают геометрию выбранного участка. Для решения этой задачи использовались данные результатов промеров, проведенных сотрудниками ФГУ «Государственный Океанографический Институт имени Н.Н. Зубова» в рамках работ по уточнению морфометрических характеристик Горьковского водохранилища, выполненных по заказу Росводресурсов [1]. В итоге была создана цифровая модель рельефа (ЦМР) (рис. 1), которая послужила источником топографической информации в виде совокупности поперечных профилей с расстояниями между смежными сечениями вдоль русла и прилегающей территории. Всего было выделено 97 поперечников.

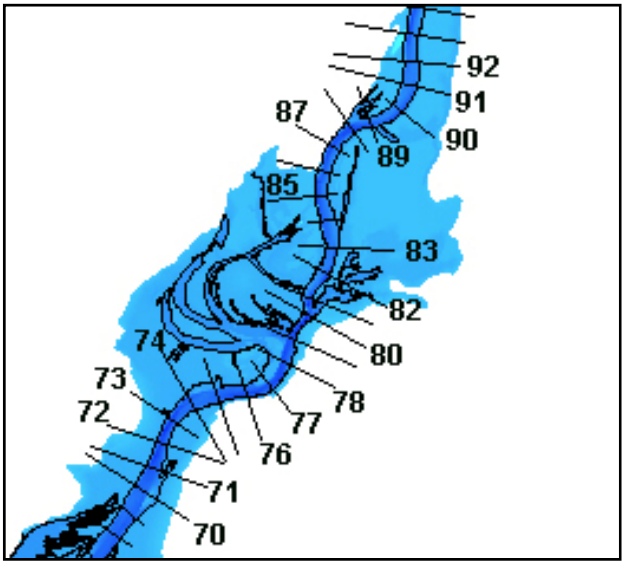


Рис. 1. Фрагмент ЦМР устьевого участка р. Унжа с номерами расчетных створов

Существенно влияет на получаемые результаты шероховатость русла и поймы. По данным наблюдений за водным режимом р. Унжа была произведена калибровка модели подбором соответствующего значения коэффициента шероховатости: на выбранном участка 0,035 – в русле, 0,05 – на пойме. Процесс калибровки является решающим фактором, и проводится для того, чтобы воспроизводимое поведение реального потока было представлено в модели как можно достовернее по сравнению с сопоставляемыми явлениями в натуре.

В качестве гидрологических данных для описания режима движения воды использовались кривая расходов по г/п Макарьев в верхнем створе и уровень водохранилища по посту г. Юрьевец в нижнем створе.

Расчет гидравлических характеристик и построение кривой свободной поверхности производились для двух сценариев прохождения стока: пропуск расхода 150 $м^3/с$ при уровне в водоприемнике 83,0 м (уровень предполоводной сработки водохранилища) и пропуск паводкового расхода 1500 $м^3/с$ при уровне 84,0 м (НПУ).

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Основные гидравлические характеристики, полученные в результате модельных расчетов по двум сценариям, представлены в таблице. Из таблицы видно, что при прохождении паводка водный поток в данном створе разделяется на русловой и пойменный вследствие перелива высокой воды через бровки, и часть стока приходится на маленькие протоки и канавки по левому берегу реки.

Сводная таблица гидравлических характеристик р. Унжа в створе № 89

Параметр	Значение при Q=150 $м^3/с$	Значение при Q=1500 $м^3/с$	
		Русло	Пойма
Уровень воды, *м абс*	83,18	86,55	86,55
Уклон водной поверхности	0,000057	0,000118	0,000118
Ширина по урезу, *м*	274,38	657,84	117,21
Скорость потока, *м/с*	0,31	0,69	0,14
Максимальная глубина, *м*	5,12	8,48	–
Площадь поперечного сечения, $м^2$	480,61	2169,01	57,44
Гидравлический радиус, *м*	1,75	3,30	0,49
Смоченный периметр, *м*	274,83	658,92	117,21
Расход, $м^3/с$	–	1492,23	7,77

Анализ результатов расчета такой характеристики, как ширина русла по урезу, позволил предварительно отметить участки р. Унжа, которые при пропуске больших расходов резко изменили плановые очертания водной поверхности (рис. 2).

Представляется возможным выделить зоны разливов (на рисунке это заштрихованная область), характеризующиеся затоплением поймы, увеличением площади речных заливов, появлением мелких и крупных проток и т.д.

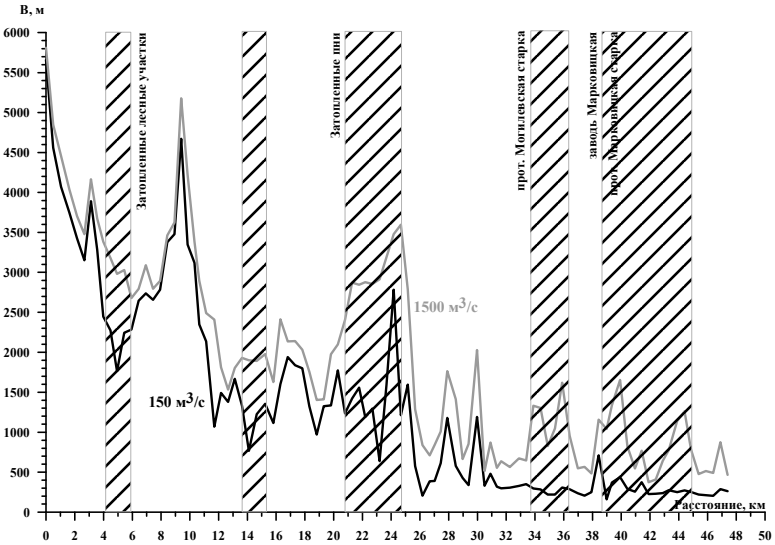


Рис. 2. График изменения ширины водной поверхности по створам на исследуемом участке

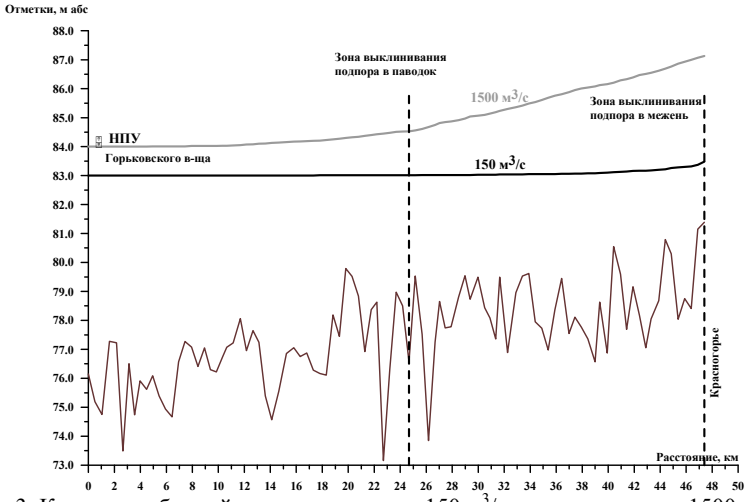


Рис. 3. Кривые свободной поверхности: при 150 м^3/с – расчетная, при 1500 м^3/с - прогнозная

Анализ изменения скоростей на исследуемом участке показал, что режим течений на р. Унжа зависит, очевидно, от соотношения

расходов воды в вершине русла и уровня воды в водохранилище. Главным результатом гидравлических расчетов является построение кривой свободной поверхности, которая отчетливо демонстрирует уровневые изменения по длине реки. Колебания уровня – важный гидрологический элемент, отражающий динамику потока на различных фазах водности. Ниже представлен график показывающий, что в период зимней межени на устьевом участке р. Унжа наблюдается выравнивание стока под действием водохранилища, а в период прохождения паводковых расходов в верховье реки формируется подпор вследствие повышения уровня воды в водоприемнике (рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования была создана модель устьевого участка р. Унжа и получены гидравлические характеристики водного потока, как то: скорость, ширина по урезу, уклон, площадь поперечного сечения, максимальная глубина, смоченный периметр и др. Созданный математический аналог режима реки достаточно точно отражает гидрологическую ситуацию. При наличии регулярных исследований он позволит численно оценить возможные изменения морфометрических параметров, а в случае экстремальной паводковой ситуации – своевременно оценить и предупредить угрозу наводнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Землянов И.В., Горелиц О.В., Павловский А.Е., Шикунова Е.Ю. Использование геоинформационных технологий для оценки современных морфометрических характеристик водных объектов. – в кн. «Труды Государственного Океанографического Института», "Исследования океанов и морей" , выпуск No. 212, под редакцией В.Ф. Комчатова.–М., 2009г.
2. Коренева В.В. Гидравлические расчеты открытых водосбросных сооружений на ЭВМ: уч. пос.. М.: МГУП, 2003. 80 с.
3. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ: Т. 5. Река Волга от Рыбинского гидроузла до Чебоксарского гидроузла. Министерство транспорта РФ, Росречфлот, 2004.

УДК 504.064.36

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОЛЖСКОЙ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. МОСКВЫ

А.А. Строков

Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва

aastrokov@mail.ru

Ключевые слова: ГИС-проектирование, система отображения экологической информации, гидрохимические и гидробиологические показатели качества вод

ВВЕДЕНИЕ

Комплексная оценка экологического состояния объектов, обеспечивающих крупные города, в частности Московский мегаполис, водными ресурсами, а также мониторинг этих ресурсов является важной и необходимой задачей на современном этапе развития государства. В соответствии со Статьей 30 Водного кодекса РФ государственный мониторинг водных объектов необходим для обеспечения управления в области использования и охраны водных объектов. Мониторинг обязательно состоит из наблюдений за состоянием поверхностных вод, мониторинга дна и берегов, подземных вод и целых водохозяйственных систем [1].

Стоит отметить, что при мониторинге поверхностных вод гидрохимический анализ не учитывает всего многообразия загрязнителей, поступающих в воду, а лишь проверяет соответствие установленным нормативам качества для конкретных видов водопользования. Более 20 лет назад была признана необходимость применения биологических методов оценки качества вод [2].

Для целей экологического мониторинга в России внедрена и активно распространяется практика создания геоинформационных систем (ГИС), позволяющих получать различные экологические карты для принятия управленческих решений в сфере рационального водопользования. Однако, для создания подобных карт необходимо обладать достаточным объемом разнообразной информации, которая зависит от состояния наблюдательной сети. Порой число створов государственной сети наблюдений (ГСН) на территории конкретного водного объекта не позволяет строить достоверные карты

экологического состояния. Хорошими примерами этого являются водохранилища водораздельного бьефа канала им. Москвы, большая часть которых имеет 3-4 пункта наблюдений.

Следовательно, основная цель работы состояла в том, чтобы создать комплексную систему отображения экологической информации, включающей показатели гидрохимического и гидробиологического состояния поверхностных вод и донных отложений рассматриваемых водных объектов. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: 1) проанализировать данные мониторинга водных объектов Волжской водной системы (ВВС) за определенный период времени (2007-2009 гг.); 2) оценить применимость традиционных способов отображения информации в виде карт распределения; 3) предложить удобную систему отображения экологической ситуации в водных объектах.

МЕТОДЫ

Основными материалами для работы явились ежегодные отчеты о проведении работ по Программе наблюдений за состоянием водных объектов в зоне деятельности Бассейновой гидрохимической и Дубнинской экоаналитической (БГХЛ и ДЭАЛ) лабораторий, выполняющих заказы ФГВУ "Центррегионводхоз" за 2007-2009 гг. [2]. На их основе в течение 2-х последних лет проводилась оценка качества вод водохранилищ, геоинформационное картирование акваторий (при помощи ГИС *MapInfo Professional v. 7.8* и *Surfer v. 8*), а также производился сбор необходимой информации для создания системы отображения.

Для комплексной оценки гидрохимического состояния были использованы различные показатели согласно [3]. Для оценки гидробиологического состояния была использована методика оценки сапробности (расчет *индекса сапробности (S)* по методу Пантле-Букка в модификации Сладечека) и состояния фитопланктона [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Невысокая достоверность полученных карт распределения побуждает перейти к другой системе отображения информации с использованием интегральных показателей, характеризующих водный объект в целом или его части со сходным гидрологическим режимом. Для отображения такой информации предложено использование следующей системы «условных знаков».

1. Система, отображающая динамику состояния поверхностных вод. Для отображения необходимых данных и внедрения конкретного значения в ГИС часто создают точечную тему

(в данной статье тему с нанесенными створами ГСН), которая может иметь соответствующие цвета согласно определенным критериям. Одним из таких критериев может являться изменение экологического состояния в сторону улучшения или ухудшения. Таким образом, каждый отдельный створ может характеризовать изменение экологической ситуации по сравнению с аналогичным периодом в прошлом году, сезоне, месяце и т.д. В качестве примера такого отображения на рис. 1 (слева) показана динамика изменения гидрохимического состояния поверхностных вод в Химкинском водохранилище, имеющем 4 створа наблюдений.

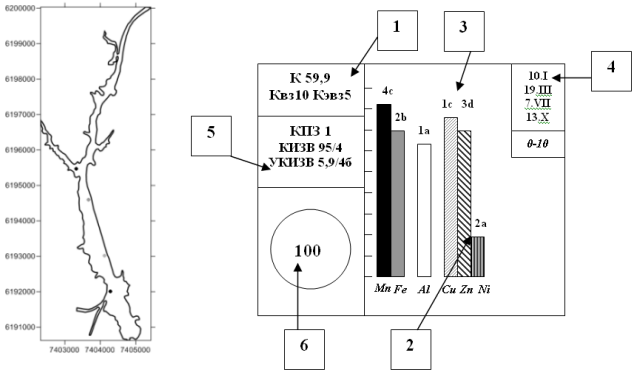


Рис. 1. Предлагаемая система отображения информации о гидрохимическом состоянии поверхностных вод в Химкинском водохранилище

2. Система, отображающая гидрохимическое состояние поверхностных вод. При гидрохимической оценке качества вод использовались различные показатели из [3]. Предложенная система состоит из 6 основных блоков (рис. 1 справа).

В блоке 1 содержится информация о *коэффициенте комплексности загрязненности воды (К, %)* каждого створа водного объекта за год (сезон, месяц). Также дается информация о высоком и экстремально высоком содержании загрязнителей (Квз, Кэвз). В блоке 2 отражен стандартный набор загрязнителей, максимально характерных (приоритетных) для данного водного объекта и кратности превышения существующих нормативов качества воды (высота столбика). Блок 3 учитывает повторяемость случаев загрязненности и кратность превышения ПДК согласно [3]. В блоке 4 содержится информация о дате (день/месяц) отбора проб для программы мониторинга. Блок 5 раскрывает комплексные показатели качества воды в точке отбора, такие как *комбинаторный* и *удельный комбинаторный индексы загрязненности воды (КИЗВ, УКИЗВ).*

Отдельно стоит отметить количество *критических показателей загрязненности (КПЗ),* которые обусловливают перевод воды по степени загрязненности в классы "очень грязная" и "экстремально грязная". Блок 6 отражает процент выполнения программы государственного мониторинга водных объектов. Это важно, потому как существуют ситуации, при которых выполнение программы оказывается неполным, что может привести к существенному снижению достоверности итоговой информации.

Следует отметить, что данная система может применяться как для отдельного створа, пункта, так и для характеристики объекта в целом. Расшифровка всех сокращений, обозначений и цветных решений системы отображения может приводиться в разделе Help (в случае ГИС), либо на месте легенды в бумажных источниках.

3. Система, отражающая гидрохимическое состояние донных отложений. Данная система аналогична той, которая используется для оценки качества поверхностных вод, но в ней содержится только информация об основных загрязнителях донных отложений (кратность превышения фонового содержания), дате отбора проб и полноте выполнения программы мониторинга.

4. Система, характеризующая гидробиологическое состояние поверхностных вод методом оценки сапробности и состояния фитопланктона. Система позволяет отображать такие характеристики основных групп фитопланктона как численность и биомассу в процентном соотношении (1 и 2) (рис. 2).

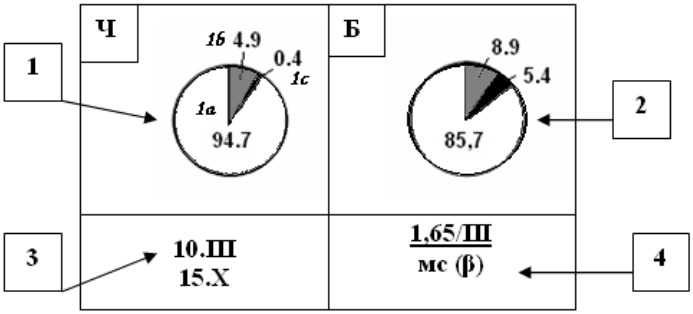


Рис. 2. Предлагаемая система отображения гидробиологической информации для поверхностных вод методом оценки сапробности и состояния фитопланктона

В данной статье среди основных групп были выделены: сине-зеленые (1a), диатомовые (1b) и зеленые водоросли (1c). Дается информация о датах отбора проб воды (3) и о сапробных свойствах водоема (4), где приводится значение индекса сапробности и соответствующий ему класс качества вод. Для полноты

гидробиологической информации отражается и характер зоны самоочищения воды, которая может быть ксеносапробной (кс), олигосапробной (ос (β;α)), мезосапробной (мс (β;α)), либо полисапробной (пс).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. После анализа данных экологического мониторинга водных объектов Волжской системы водоснабжения г. Москвы за 2007-2009 гг. было установлено, что имеющаяся информация не дает возможность построить достоверные карты распределения загрязнителей и комплексные карты гидрохимического состояния;
2. Предложенная система отображения позволяет наглядно представить информацию не только о гидрохимическом, но и гидробиологическом состоянии водных объектов, их поверхностных водах и донных отложениях в тех ситуациях, когда создание карт распределения проблематично;
3. Система может использоваться как в компьютерных системах (в качестве метода инфографики, инструмента для ГИС, интернет-ресурсах в виде выпадающего окна), так и в аналитических документах, составленных в бумажном виде.

Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории автоматизированных систем ФГУ «ГОИН» и лично И.В. Землянову за оказанную помощь в подготовке статьи, а также сотрудникам ФГВУ «Центррегионводхоз» за предоставленные материалы исследований водных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водный кодекс Российской Федерации: федер. закон Рос. Федерации от 03.06.2006 г. №74-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 12 апреля 2006 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 26 мая 2006 г [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/online/base/?req=doc;base=LAW;n=108865

2. Отчеты о проведении работ по Программе наблюдений за состоянием водных объектов в зоне деятельности Бассейновой гидрохимической (БГХЛ) и Дубнинской экоаналитической (ДЭАЛ) лабораторий ФГВУ «Центррегионводхоз» за 2007-2009 гг. Доступ с официального сайта ФГВУ «Центррегионводхоз». URL: http://www.fgwu.ru/

3. Методические указания Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям [Электронный ресурс]: руководящий документ РД 52.24.643-2002: утвержден и введен в действие Росгидрометом 03.12.2002 г. URL: http://www.aprohim.ru/page/page166.html

УДК 504.064

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ОПАСНОСТИ ОСАДКА И ОЦЕНКА ПРОЕКТА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД ОАО «ГАЙСКИЙ ГОК»

И.В. Телегин

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

telegin7@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

Ввиду того что технология добычи и переработки руды на Кировском месторождении не исключает возможности загрязнения подземных вод, инициирующей основой работы является выявление всех возможных и основных потенциальных очагов локального загрязнения подземных вод на прилегающей территории.

Последующей решенной задачей в работе стало создание методики мониторинга для данного объекта и оценка ее рациональности, определение объема и условий производства проектируемых работ согласно действующим нормативно-методическим документам.

Выполнив задачи, перечисленные ранее, была создана следующая последовательность работ: проектирование, буровые работы, топогеодезические работы, наблюдение за состоянием подземных вод, лабораторные исследования, наблюдения за техническим состоянием наблюдательных скважин и поддержание их в рабочем состоянии, камеральная обработка и инспектирование наблюдательной сети.

Основной целью создания локального мониторинга подземных вод в районе Кировского месторождения золота является своевременное выявление и прогнозирование возможных негативных изменений состояния подземных вод в результате освоения природных ресурсов.

В работе рассматривается проект создания очистных сооружений очистки шахтных вод подземного рудника «ОАО Гайский горно-обогатительного комбинат», основной задачей которых будет являться использование шахтных вод для промышленного водоснабжения подземного рудника с целью прекращения сброса

сточных вод в ручей Ялангас и в конечном итоге, в реку Урал, имеющую рыбо - хозяйственное значение в Уральском и Приволжском федеральных округах.

Учитывая постоянно растущие размер и объемы работ предприятия, количество отработанной воды на сегодняшний день в среднем составляет 205400 $м^3$ в месяц, что является существенным показателем, оказывающим опасное воздействие на окружающую среду.

Вследствие этого был разработан проект создания очистных сооружений подземного рудника предназначенных для очистки дебалансных шахтных вод, поступающих в оборотную систему обогатительной фабрики, до норм ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

При очистке такого количества сточной воды образуется большое количество осадка.

Осадок, образующийся при химической обработке шахтной воды, содержит в основном гидроксид алюминия (при использовании алюминиевых электродов) или гидроксид железа (при использовании железных электродов), которые образуются при растворении электродов. Поскольку гидроксиды металлов образованные при растворении электродов являются эффективными сорбентами для тяжелых металлов, в осадке концентрируется и тяжелые металлы. Количество осадка, образовавшегося в реакторах-отстойниках определяется главным образом гидроксидами металлов. Расчетные данные приведены в табл. 1

Таблица 1

	мл/л	мл/л
Сульфит	396	350
Хлориды	2044	500
Кальций	192	100
Магний	52	47,7
Железо	28,8	0,3
Медь	3,84	1
Цинк	0,49	1

РАСЧЕТ ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ОСАДКА

Производительность очистных сооружений – 300м3/ч = 7200м3/сут (Qw)

Woc – количество образующегося осадка

Cen – 3600мл (Общее содержание осадка в очищаемой воде)

Cex - 1000мл (Общее содержание осадка в очищаемой воде)

Poc – 98%(влажность осадка)

Yoc - 1,0 г/см3(плотность осадка)

$Woc= Qw(Cen-Cex) / (100-Poc)Yoc *10^4=936м^3/сут.$

Для определения параметров хранения и утилизации необходимо определить класс его опасности.

РАСЧЕТ КЛАССА ОПАСНОСТИ ОСАДКА

В процессе электрохимической обработки шахтной воды образуется осадок, для утилизации которого необходим расчет класса опасности в соответствии с критериями отнесения опасных отходов по классу опасности для окружающей среды, утвержденных Приказом Министра природных ресурсов РФ № 511 от 15.06.2001 г.

Исходные данные:

Qw - 300м3/ч=2160000м3/месяц

Сн – 3600мл/л (начальная концентрация в-в)

Ск – 1000мл/л (конечная концентрация в-в)

Количество осадка после его отстоя в шламовом приямке и частичного обезвоживания до влажности 95%, составит 518м3/сут=15540м3/мес

Для расчета класса опасности осадка с абсорбированными загрязняющими веществами, извлеченных из воды, были взяты вещества, концентрация которых очищаемой шахтной воде превышает ПДК, а именно медь, цинк, железо.

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

К=к1+к2+к3…кi, где К– показатель степени опасности отходов для окружающей среды(ОПС).

к1+к2+к3…кi, - показатели степени отдельных компонентов для отходов для ОПС.

-к1=Ci/Wi ,где Ci- концентрация i-компонента в опасном отходе(мг/кг), а Wi- коэффициент степени опасности i-ного компонента в опасном отходе для ОПС(мг/кг)

-lgWi=Zi

Для 2<Zi<4, где Zi=4Xi/3 – 1/3

K= ∑ki=1,5+1,5+7,4=10,4

K= 10<10,4<100

В соответствии с п. 4 Приказа Министра природных ресурсов РФ № 511 от 15.06.2001 г. «Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей среды», при отсутствии подтверждения V класса опасности экспериментальным методом осадок может быть отнесен к IV классу опасности, а значит к категории малоопасных отходов.

В связи с этим утилизация осадка может предполагать его использование в технологии очистки шахтных вод.

Например, полученный осадок после электрофлотокоагуляторов и реакторов-отстойников состоит в основном из гидроксида алюминия или гидроксида железа, которые в свою очередь являются эффективными коаглянтами, поэтому осадок можно использовать как коагулянт для быстрого осаждения взвешенных веществ в пруду накопителе.

Подтверждение класса опасности образовавшихся осадков будет осуществлено в процессе пуско-наладочных работ очистных сооружений по очистке шахтной воды подземного рудника «Гайский ГОК»

	Загрязняющий компонент		
	Медь	Цинк	Железо
ПДК Хоз.-пит. Назначения мл/л	1,0	1,0	0,3
Средняя концентрация Компонента в воде мл/л	3,84	0,49	28,8
Кол-во Извлечен. Из очищен. Воды в-ва г/месяц	8294400	10580400	62208000
Кол-во Загрязняющих В-в в осадке (Ci) Мг/кг	533,7	680,8	4003
Wi Мг/кг	358,9	463,4	540,6
Ki=Ci/Wi	1,5	1,5	7,4

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарева Т.И. Экология химических производств. – М. МИХМ, 1986.- 92 с.
2. Гамер П., Джексон Д., Серстон И., Очистка воды для промышленных предприятий / Пер. с англ.. – М. Стройиздат, 1968. – 416 с.
3. Вавельский М.М., Чебан Ю.М. Защита окружающей среды от выбросов промышленных предприятий. - Кишинев. Штиница, 1990.- 200 с.
4. Тимохин А.С. Основы расчета и конструирования химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник: В 3 т. Т 2 – 2-е изд. – Калуга. 2002 – 996 с.
5. Копановский А.М. и др. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. – М. Химия, 1983. – 160 с.

УДК 504.064.262.5

МОНИТОРИНГ АВАРИЙНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ НЕФТЬЮ НА ПРИМЕРЕ МЕКСИКАНСКОГО НЕФТЯНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ PEMEX

Х. Тихерина Борисенко

Российский университет дружбы народов, г. Москва

larusa12@hotmail.com

Ключевые слова: мониторинг, нефть, аварийный разлив

ВВЕДЕНИЕ

Аварийные разливы нефти на море – одна из серьезнейших проблем при разработке и эксплуатации морских месторождений. Как показывает опыт многих нефтяных компаний, в случае аварийных разливов крайне важна объективная и достоверная информация о развитии аварии. Эти сведения могут быть получены лишь при эффективно организованной системе экологического мониторинга.

Цель представленного исследования – рассмотреть организацию системы мониторинга загрязнения нефтепродуктами водной среды в мексиканской нефтяной компании PEMEX на примере одной из крупнейших в компании аварий за последние 5 лет, а именно аварии в акватории Мексиканского залива на нефтяной платформе КАБ-101.

Задачи исследования – на примере аварийных событий 2007 г. в зоне Мексиканского залива оценить роль экологического мониторинга в получении необходимой информации о состоянии окружающей среды, а также оценить вклад разлива нефти в суммарное изменение состояния окружающей среды.

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ В PEMEX

Нефтяное государственное предприятие PEMEX имеет монополию по эксплуатации газонефтяных ресурсов Мексики. Предприятие созданно в 1938 году, имеет конституционные рамки для эксплуатации энергетических ресурсов. PEMEX ведёт работы по постоянному улучшению в области техники безопасности, здоровья и защиты природы на основе адекватной иерархической идентификации

аспектов экологического риска и контроля, особое внимание уделяя укреплению культуры с упором на профилактику.

Для развития культуры экологической ответственности в государственной нефтяной компании Мексики (PEMEX) в отделе Система управления процессами (Sistema de Gestion por Procesos), занимающийся безопасностью, здоровьем и защитой природы (SSPA), создан подотдел экологической администрации (Subsistema de Administracion Ambiental, SAA), общей целью которого является выявление и контроль важных аспектов и последствий экологического воздействия [1]. SAA состоит из 15 элементов, созданных для предотвращения и борьбы с загрязнением, управлением экологическими аспектами и последствиями действий компании при её производственных процессах. Один из важнейших элементов SAA - *мониторинг и оценка работы*.

ОПЫТ МОНИТОРИНГА АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА

Рассмотрим действия компании при мониторинге загрязнения морской среды при аварийном разливе нефти в 2007 г. на морской скважине Kab-121 [2]. Авария произошла из-за трудностей закрытия этой морской скважины по причине плохим климатическим условиям на данный момент. Платформа расположена 32 км к северу от устья реки Грихальва, Crudo ligero (лёгкая сырая нефть) 37.5° API, предполагаемый объем утечки 422 баррелей в сут., общий объём вытекшего нефтепродукта на 17.12.2007 г. 16500 баррелей [3].

С 20 октября 2007г. проводились маневры сближения буровой автоматически поднимающейся нефтяной платформы Усумасинты к платформе скважин КАБ-101 и КАБ-121 для бурения новой скважины. Из-за плохих климатических условий в районе зонды Кампече, вызванных холодным фронтом №4, 23октября нефтяная платформа Усумасинта ударила в шток клапанов скважины КАБ-121 на платформе КАБ-121, вызвав прорыв и утечку газа и нефти. Принятые срочные аварийные меры включили действия по взятию под контроль утечки нефтепродуктов, работы по сдерживанию расползающегося масляного пятна, и работы по очистке и восстановлению пострадавшей зоны океана и побережья.

Были проведены оценки экологического ущерба (земля, вода) по специализированной методике. Также были проведены проверки и немедленное усиление техники безопасности на всех нефтяных платформах и подобных объектов всей страны с целью предупреждения возможных аварий в будущем.

К работе по анализу последствий была привлечена Океанографическая экспедиция УНАМ с целью оценки влияния последствий разлива нефтепродукта к значительным изменениям

окружающей природы на короткий срок. Ее задачей является постоянная оценка состава и качества воды, донных отложений и морских организмов для обнаружения загрязнения и для определения степени влияния нефтяной промышленности. С 15.10.2007 г. по 5.03.2008 г. были измерены газы и собраны образцы воды, донных отложений и морской фауны [4]. В частности, были проанализированы параметры:

- *качества воды*: pH, NO_2^-, NO_3^-, SiO_3^{2-}, PO_4^{3-}; Li, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, Se, Sr, It, Mo, Ag, Cd, In, Ba, Pb, Bi, Hg; общее количество нефтяных углеводородов; состав зоопланктона, нефтеразлагающие бактерии, и все бактерии кишечной группы [4].
- *качества воздуха*: NO_x, O_3, NO, N_2O, H_2S, CO, HC-TOT, SO_2, CO_x;
- *состава донных отложений*: суммарные углеводороды, все алифатические углеводороды, общие ПАУ, редуцирующие нефть бактерии; Co, Cu, Cr, Ni, Pb, V.
- *флора*: фитопланктон (богатство, плотность), первичная продукция, биомасса [10];
- *фауна*: бентическая макрофауна, плотность, разнообразие живых придонных организмов; рыба (нефть и металлы).

Морская вода показала буферную способность поглощать часть CO_2, образующегося при сжигании углеводородов. Основные океанографические параметры находились в пределах нормы. В пробах взятых с 7 по 11.12.2007 г. обнаружились уровни выше нормы общего количества углеводородов, растворенной меди и никеля. Газообразные загрязнители воздуха SO_2, O_3, CO_x находились в пределах установленных нормами по качеству воздуха. В донных отложениях не были обнаружены изменения в сравнении с периодом до аварии, и при удалении от платаформы все измеряемые параметры имели меньшие показатели. Общая масса зоопланктона и фитопланктона увеличилась в течении аварийной ситуации как результат увеличения CO_2 в воде. Средняя концентрация ПАУ в организмах увеличилась после аварийной ситуации. В ходе мероприятия не обнаружилось значительного увеличения бактерий уничтожающих нефть.

Определение потенциальных биотических эффектов было проведено Центром исследований и повышения квалификации ИПН с 10.03. по 31.10.2008 г. [5]. Были проанализированы пространственные изменения в донных отложениях по физическим и химическим параметрам; концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях и рыбе (нефть, молекулярные биомаркеры, тяжелые металлы, пестициды, ПХБ, ПАУ). Также были проведены оценки индукции различных молекулярных биомаркеров в желчных пузырях рыб и их возможной связи с метаболитами ПАУ и органическими загрязняющими веществами в донных отложениях.

Был оценен вероятный гистопатологический вред рыбам вида Ariopsis Felis с учетом загрязнения окружающей среды. Проводились работы по обнаружению, идентификации и количественному определению редуцирующих нефть бактерий в донных осадках; а так же определение состава, распределение и обилие придонных организмов и возможность связи с углеводородами и тяжёлыми металлами в донных осадках.

Результаты оценки физико-химических параметров показали нормальные физико-химические условия для прибрежных районов, находящихся под влиянием впадающих рек. Не выявлено доказательств, что состояние места разлива отличается от остального района.

Однозначно оценить влияние загрязнения на рыб оказалось затруднительно, поскольку это не единственный источник загрязнения. Концентрации не превышают значения ориентиров EPA для донных осадков и незначительно превышают содержания веществ в южной части Мексиканского залива. Однако среди исследуемых рыб вида Centropomus parellelus выявлен высокий процент (от 60 до 90%) непригодных для потребления человеком из-за наличия пестицидов хлорорганических соединений. Обнаружилось, что рыбы подвергались постоянному незначительному воздействию углеводородных загрязнителей (не аварийному).

Статистика показала незначительные связи между бактериями и углеводородами высокой и низкой молекулярной массы; позитивные, местные и значительные связи с высокомолекулярными углеводородами вблизи скажины; индекс "hydrocarbonoclastic" против бактерий гетеротрофных менее 1% в большинстве случаев, что указывает на минимальное влияние на дно (самый высокий уровень около скажины и в зоне северозапада от платформ).

Анализ состояния бентоса в донных отложениях показал значимую связь между состоянием фауны и параметрами физико-химических и загрязняющих веществ. Условия окружающей среды не являются критическими, но показывают стресс окружающей среды (не обязательно связаных с аварией); согласно историческомум анализу, причины негативного воздействия не являются недавними и при этом наблюдаются признаки восстанавления [5].

Таким образом, *имеются явные признаки нагрузки на окружающую среду*, хотя невозможно сказать, что единственная и основная причина этого – авария на КАБ-121; нагрузка на окружающую среду, вероятно, имеет хронический характер; две зоны имеют признаки более сильного негативного воздействия: вблизи скважины и вокруг устьев рек, что предполагает что причина загрязнения является многофакторной. Аналогичные выводы были сделаны и по результатам исследований береговой части.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, можно сказать:

- на основании исследований, проведенных научно-исследовательскими институтами, участники экологической оценки пришли к выводу, что нет доказательств того, что нарушения экологического равновесия произошли в результате этой аварии;
- быстрая реакция на аварию и проведённые работы по очищению воды и пляжа снизили возможные последствия разлива к минимуму;
- большинство изменений в окружающей среде можно было измерить только в течение короткого периода времени, и только в близи места разлива;
- в области наблюдались хронические эффекты, провоцированные различными антропогенными воздействиями, а именно хозяйственной деятельностью в прибрежной зоне, главным образом токсичные вещества, приносимые с континента реками;
- экологическая система смогла абсорбировать экологические нарушения результата аварии: все параметры находятся в том же состоянии, как до этого.

Особенно стоит подчеркнуть, что использование программы мониторинга окружающей среды в Мексиканском заливе позволило установить сравнительные параметры для определения величины воздействия разлива нефти, что подчеркивает важность океанографических наблюдений и важность мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Antonio D.Franyutti Leon: Sistema de Gestion por Procesos.Manual de Inducciyn SAA. Subsistema de Administraciyn Ambiental".2009. autor: Equipo de Proceso de PA. (Система Управления Процессами. Субсистема Экологической Администрации)
2. Acciones realizadas despues del accidente del pozo KAB-121. Subdireccion de seguridad industrial y proteccion ambiental. 24 de febrero 2009.
3. Exploracion y produccion. Informe ambiental Contingencia KAB 101. Ciudad de Mexico. 15-10-2008.
4. Marco ambiental en la zona marina del pozo Kab 121. Instituto de Ciencias del Mar y Limnologia UNAM. Dr.Felipe Vazquez gutierrez. Octubre,2008
5. Determinacion de los potenciales efectos bioticos por la contingencia del pozo Kab 121. Centro de Investigacion y Estudios Avanzados IPN. Dr. Pedro Luis Ardisson Herrera.Cinvestav. Octubre15, 2008.

УДК 550.8.08

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Н.К. Фадеев

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

n_fadeev.ipg@gmail.com

Ключевые слова: инструментальный контроль, мониторинг, потоки парниковых газов, экспериментально-аналитический комплекс, лесные экосистемы, корреляционный анализ, геофизические показатели.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования и контроль потоков парниковых газов между атмосферой и другими природными средами необходимы для оценки воздействий на климатическую систему Земли и ее эволюцию под влиянием антропогенных факторов, а также построения балансов основных биогенных элементов. Среди известных методов инструментального контроля и мониторинга потоков парниковых газов наиболее перспективным представляется метод вихревой ковариации (микродинамических пульсаций). Этот метод позволяет осуществлять инструментальный контроль газообмена между экосистемой и атмосферой, выполняя непрерывную оценку чистого биогенного потока CO_2 с помощью газоанализаторов открытого типа и по праву считается наиболее совершенным и эффективным при оценке интегральных характеристик природных сред [2]. Надо признать, что использование метода вихревой ковариации в нашей стране пока носит ограниченный характер: подобные аппаратурно-аналитические комплексы установлены на ограниченном числе исследовательских станций (7), преимущественно ведущих узкоспециализированные исследования. Учитывая преимущества вихревой ковариации по сравнению с другими методами неразрушающего контроля природных сред, целесообразно проанализировать перспективы его использования в системе Росгидромета. В статье представлен анализ связи между отдельными геофизическими показателями, измеренными аппаратурно-аналитическим комплексом вихревой ковариации в целях информационно-методического обеспечения его работы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Измерения выполняются инструментально-аналитическим комплексом Campbell Scientific и обеспечивают систему постоянного и неразрушающего контроля состояния природной среды. Основным модулем комплекса является регистратор CR5000, обеспечивающий контроль и работу подключаемых к нему приборов – до 40 аналоговых датчиков, фиксирующих изменения геофизических характеристик состояния окружающей среды в режиме реального времени. На основе данных измерений комплекс автоматически рассчитывает параметры приземного слоя атмосферы и подстилающей поверхности, определяет балансовые потоки тепла и, наконец, концентрации и потоки парниковых газов. Инструментально-аналитический комплекс измеряет 45 геофизических показателей. Измеряемые геофизические показатели включают: атмосферное давление, температуру и относительную влажность воздуха; количество осадков, температуру и влажность почвы; потоки видимого и инфракрасного излучений в системе Солнце – атмосфера - подстилающая поверхность – атмосфера; скорость и направление ветра; концентрации, вихревые ковариации и потоки парникового газа CO_2 и водяного пара (H_2O); парциальное давление водяного пара, среднюю плотность водяного пара и влажного воздуха, отношение между плотностью водяного пара и плотностью сухого воздуха. Измерения проводятся непрерывно: инфракрасный газовый анализатор LI-7500 работает с частотой дискретизации 5/10/20 Гц. Трёхмерный акустический анемометр CSAT3 работает с частотой 10/20 Гц. Измерения с почвенных датчиков поступают с частотой 1 Гц. Показатели, измеренные с высокой частотой, обозначали как «быстрые». Данные измерений с низкой частотой обозначали как «медленные». Каждые 30 мин результаты измерений обобщаются и определяются средние значения величин и их статистические характеристики. Результаты расчетов записываются в ПЗУ прибора. Работу расчетно-аналитических блоков комплекса характеризуют 14 операционных параметров. Измеренные показатели используются в расчетах 21 результирующих величин [3-5].

Исследования потоков парниковых газов выполняются в старовозрастных еловых лесах территории опытно-экспериментальной базы Валдайского филиала ГГИ Росгидромета. Выбор старовозрастных еловых лесов в качестве экспериментального полигона для оценок потоков парниковых газов обусловлен тем, что в лесах старших возрастных групп сосредоточено 56,7% всей древесины лесов страны [1].

В 2010 году получен первый массив данных о потоках парниковых газов в лесных экосистемах и выполнен анализ связи между измерениями отдельных показателей, характеризующих

состояние природной среды. Расчеты производились на основе метода множественного корреляционного анализа. Были исследованы корреляции между массивами расчётных, исходных и операционных показателей. Корреляционный анализ был выполнен при помощи стандартного пакета программ в среде Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для корреляционного анализа были использованы данные работы прибора за период с 27.07.2010 по 16.11.2010, всего 5592 измерения по 45 показателей каждое. Из анализа были исключены 1194 измерения, признанные непригодными в силу случайных причин (образование конденсата в камерах датчиков, туман, снег, пролет насекомых, воздействие птиц и др.). Рассмотрение исключенных показателей производилось отдельно. В таблицах 1 и 2 приведены результаты корреляционного анализа для случаев с высокой связью измеренных и расчетных параметров.

Из таблицы 1 видно, что между расчетной величиной балансового потока CO_2 и измеренными параметрами фотосинтетически активной радиации (ФАР) – средней плотностью потока ФАР и суммарной ее величиной существует обратная связь. Кроме того, отрицательная корреляция наблюдается у показателей балансового потока CO_2 с величинами чистой радиации и потоками явного и скрытого тепла. По всей вероятности, это связано с тем, что интенсивность физиологических процессов древесных растений, определяющая баланс потока CO_2, ингибируется высокими температурами, показателями которых являются потоки скрытого и явного тепла, чистой радиации и ФАР. Следовательно, отклонение тепловых характеристик окружающей среды от оптимальных значений оказывает угнетающий эффект на лесные экосистемы.

Из таблицы 1 видна прямая зависимость между потоком скрытого и явного тепла и данными измерений ФАР, а также показаниями температуры почвы и чистой радиацией. Таким образом, с увеличением ФАР и чистой радиации происходит увеличение значений интегрального потока тепла. Отмечается линейная зависимость между расчетной величиной чистой радиации и горизонтальной составляющей скорости ветра. Показатели чистой радиации прямо связаны с измерениями ФАР и температурой почвы. При увеличении температуры почвы увеличиваются и потоки тепла. Также наблюдается прямая зависимость между потоком почвенного тепла и температурой воздуха на различных высотах (таблица 2). Соответственно, температура почвы, скрытый и явный потоки тепла вносят существенный вклад в формирование микроклиматических условий территории. Этот вывод подтверждается и обратной

зависимостью между содержанием водяного пара и влажностью почвы - то есть, при увеличении влажности почвы содержание водяного пара в воздухе уменьшается и наоборот. Из таблицы 2 можно видеть обратную зависимость между плотностью воздуха и средней температурой почвы, а также потоком почвенного тепла.

Таким образом, такие геофизические показатели, как балансовый поток CO_2, потоки скрытого и явного тепла, показания датчиков чистой радиации, значения ФАР обладают высокой информативной емкостью, и их можно использовать для целей мониторинга состояния природной среды. В свою очередь, положительная, почти линейная связь показаний датчиков температуры почвы и величин радиации свидетельствует о технической исправности прибора.

Таблица 1.

Анализ связи между расчетными параметрами и результатами низкочастотных («медленных») измерений.

Наименование параметра или показателя	Балансовый поток CO2, миллимоль /(м^2*сек), NEE	Поток скрытого тепла (за счет испарения либо конденсации влаги), Вт/м^2, Le	Поток явного тепла с коррекцией на Le, Вт/м^2, Hs corr	Чистая радиация с поправкой на горизонтальную скорость ветра, Rn, Вт/м^2	Чистая радиация, Вт/м^2	Изменение температуры почвы по датчику 1	Изменение температуры почвы по датчику 2
Поток скрытого тепла (за счет испарения либо конденсации влаги), Вт/м^2, Le	-0.51						
Поток явного тепла с коррекцией на Le, Вт/м^2, Hs corr	-0.52	0.52					
Чистая радиация с поправкой на горизонтальную скорость ветра, Rn, Вт/м^2	-0.55	0.69	0.92		1		
Средняя плотность потока ФАР, мкмоль/сек/м^2	-0.50	0.64	0.82	0.89	0.89	0.62	0.53
Суммарная ФАР ммоль/м^2	-0.50	0.64	0.82	0.89	0.89	0.62	0.53
Изменение температуры почвы по датчику 1		0.56	0.63	0.74	0.75		
Изменение температуры почвы по датчику 2		0.51	0.56	0.67	0.67	0.89	

Таблица 2.

Анализ связи между величинами высокочастотных и низкочастотных измерений и расчетными параметрами.

Наименование параметра или показателя	Температура воздуха по датчику влажности, С	Содержание водяного пара, г/м^3	Плотность воздуха, кг/м^3	Температура воздуха по датчику акустического анемометра С	Содержание водяного пара в воздухе на уровне анализатора, г/м^3	Поток почвенного тепла по датчику 1, Вт/м^2	Поток почвенного тепла по датчику 2, Вт/м^2	Поток почвенного тепла по датчику 3, Вт/м^2
Поток почвенного тепла по датчику 1, Вт/м^2	0.86	0.69	-0.87	0.86				
Поток почвенного тепла по датчику 2, Вт/м^2	0.87	0.72	-0.90	0.88		0.99		
Поток почвенного тепла по датчику 3, Вт/м^2	0.81	0.59	-0.82	0.81		0.96	0.95	
Влажность почвы по датчику 1 с коррекцией на температуру почвы	-0.88	-0.77	0.78	-0.88	-0.63	-0.64	-0.66	-0.54
Влажность почвы по датчику 1 с коррекцией на температуру почвы	-0.78	-0.72	0.70	-0.78	-0.65			
Средняя температура почвы по датчику 1, С	0.94	0.87	-0.92	0.95	0.69	0.76	0.79	0.67
Средняя температура почвы по датчику 2, С	0.95	0.88	-0.93	0.95	0.69	0.79	0.82	0.70
Температура воздуха по градиенту, датчики 1-5, С	1	0.79	0.96	0.99	0.61	0.87	0.89	0.83

Из таблицы 2 видно, что увеличение температуры воздуха согласуется с ростом потока почвенного тепла и средней температуры почвы, а также уменьшением ее влажности. Установлена линейная зависимость между показаниями датчиков температуры воздуха, влажности и измерениями акустического анемометра. По всей вероятности это связано с корректной работой отдельных блоков контрольно-измерительного комплекса. Данные о содержании водяного пара в воздухе хорошо согласуются с термическими характеристиками почвы, что свидетельствует об их взаимообусловленном влиянии. Возможно, полученные значения коэффициентов корреляции являются завышенными, поскольку, в процессе работы комплекса было обнаружено, что почвенные датчики установлены в непосредственной близости от фундамента вышки, который может быть источником наведенного тепла. Скорее всего, потребуется переустановка всех почвенных датчиков на безопасное расстояние для измерений от основания мачты. Так корреляционный анализ параметров позволил выявить источник случайной ошибки измерений.

Установлена практически линейная зависимость между показаниями датчиков потоков почвенного тепла, что говорит корректной работе прибора. Следовательно, такие показатели как температура и плотность воздуха, и содержание водяного пара необходимо использовать для целей мониторинга. А вот различные показатели, связанные с датчиками измерений в почве (поток почвенного тепла, влажность и средняя температура почвы) говорят о некорректной работе самих датчиков, которые, как уже говорилось выше, необходимо переустанавливать.

Из таблицы 3 видно, что показания температуры панели логгера хорошо согласуются с температурой воздуха по акустическому анемометру, с температурой воздуха по датчику влажности, средней температурой почвы, потоками почвенного тепла и содержанием водяного пара. Можно предположить, что при высоких температурах и влажности окружающей среды контрольно-измерительная аппаратура комплекса нагревается, возможно, образуется конденсат на внутренних стенках приборов и полученные данные становятся ошибочными. Значит, прибор необходимо охлаждать и менять его положение. Установлена величина отрицательной корреляции между влажностью почвы и температурой воздуха (чем выше влажность, тем ниже температура и наоборот). При таких условиях датчики не могут работать корректно, следовательно, необходимо определить пределы изменения параметров окружающей среды, при значениях которых не будет отказов.

Наблюдается положительная корреляция между температурой воздуха и содержанием в нем водяного пара и термическими

показателями почвы. Означает это то, что при нагревании почвы происходит испарение, тем самым увеличивается содержание водяного пара, и, когда значения температуры почвы и влажности воздуха достигают предельной отметки, происходит отказ в работе прибора. Эта закономерность уже упоминалась ранее, но, при анализе непригодных значений, можно установить пороговые величины температур, при которых возможны отказы в работе датчиков. Средняя плотность потока ФАР согласуется с температурой воздуха, что свидетельствует об отказах в работе датчика радиации при высоких температурах. Видимо, потребуется изменить положение датчика или предусмотреть его охлаждение. Таким образом, приведенные в таблице 3 данные позволяют понять, как правильно производить наладку экспериментально-аналитического комплекса для инструментальной оценки потоков парниковых газов в лесных экосистемах.

Таблица 3.

Анализ параметров, признанных непригодными

Наименование параметра или показателя	Температура панели логгера, С	Поток почвенного тепла по датчику 1	Поток почвенного тепла по датчику 2	Поток почвенного тепла по датчику 3	Влажность почвы по датчику 1 с коррекцией на температуру почвы	Влажность почвы по датчику 2 с коррекцией на температуру почвы	Средняя температура почвы по датчику 1, С	Средняя температура почвы по датчику 2, С	Средняя плотность потока ФАР
Температура воздуха по акустическому анемометру, С	0.98	0.85	0.87	0.81	-0.87	-0.77	0.94	0.95	
Температура воздуха по датчику влажности, С	0.90	0.85	0.87	0.81	-0.88	-0.77	0.94	0.95	0.52
Содержание водяного пара по датчику влажности	0.80	0.68	0.72	0.59	-0.76	-0.72	0.87	0.87	
Температура панели логгера, С		0.89	0.91	0.84	-0.86	-0.75	0.95	0.96	

ВЫВОДЫ

1. Выполненные корреляционный анализ позволил установить показатели, которые можно рекомендовать для целей мониторинга природной среды. Это балансовый поток CO_2, потоки скрытого и явного тепла, показания датчиков чистой радиации и температуры, плотность воздуха, содержание водяного пара и значения ФАР. Они обладают высокой информативной емкостью, и их можно использовать для целей мониторинга.
2. Установлены показатели, по которым можно определить корректность работы отдельных блоков инструментально-аналитического комплекса. Это датчики температуры и влажности почвы, а также расчетные радиационные показатели.
3. Анализ непригодных параметров позволяет определить оптимальные условия работы прибора и установить, в каких условиях следует производить наладку экспериментально-аналитического комплекса.
4. Метод вихревой ковариации можно рекомендовать для целей инструментального контроля и мониторинга потоков парниковых газов и состояния окружающей среды в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гитарский М.Л Эмиссия и поглощение парниковых газов антропогенного происхождения лесами России. Автореф. дис. докт. биол. наук. М.: ИГКЭ, 2007. -45 с.
2. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. Кудеяров В.Н., Г.А. Заварзин, С.А. Благодатский и др. Ин-т физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН. –М.: Наука, 2007. -315 с.
3. Instruction manual. LI-7500 Open Path CO2/H2O Analyzer LI-COR Inc., 2007.p. 155.
4. Instruction manual. CSAT3 Three Dimensional Sonic Anemometer Campbell Scientific Inc., 2009. p. 70.
5. LI-7500 Open Path CO2/H2O Analyzer LI-COR Inc., 2005. p. 8.

УДК 504.7

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ УГЛЕРКИСЛОГО ГАЗА В ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ

К.Н. Шадров

Международный университет природы, общества и человека «Дубна», г. Дубна Московской области

shadrov@pochta.ru

Ключевые слова статьи: эколого-экономическая оценка, улавливание и захоронение углекислого газа, Бованенковское газоконденсатное месторождение.

ВВЕДЕНИЕ

Основным антропогенным источником атмосферных выбросов диоксида углерода (CO_2) является использование ископаемого топлива. Сжигание угля, нефти и природного газа обеспечивает более 80% энергетических потребностей человечества. Но при этом в атмосферу ежегодно попадают миллиарды тонн CO_2. Действенным способом сокращения выбросов является технологическое улавливание и хранение диоксида углерода (УХУ), способствующее ограничению роста атмосферных концентраций парниковых газов. Целью работы является эколого-экономическая оценка технологий улавливания и захоронения диоксида углерода при добыче природного газа на примере Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения[1-3].

ТЕХНОЛОГИИ УЛАВЛИВАНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ CO_2

Существуют (разрабатываются) технологии УХУ, варианты которых схематично представлены на (рис. 1). Из этого рисунка видно, что существуют различные технологии УХУ. Они находятся в различной степени готовности к использованию. Наиболее разработанными являются технологии извлечения CO_2 из добываемого природного газа и его обратной закачки в разрабатываемые геологические пласты, что значительно снижает стоимость внедрения и эксплуатации УХУ благодаря повышению дебета скважин. Данные технологии уже используются в реализации трех проектов в Канаде,

Норвегии и Алжире[1]. В связи с тем, что данные технологии уже апробированы, не требуют дополнительных затрат для доработки, то их внедрение является наиболее предпочтительным.

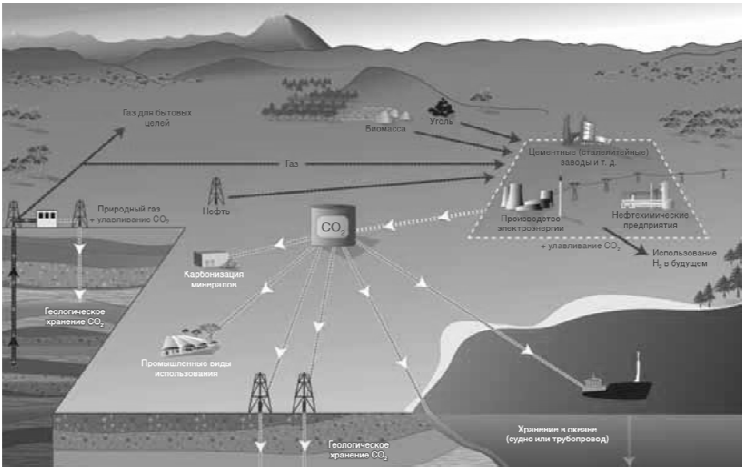


Рис. 1 Варианты существующих (разрабатываемых) технологий УХУ [1].

Рис 2. Бованенковское нефтегазоконденсатное месторождение в системе нефтегазовых месторождений п-ва Ямал [3].

С учётом того, что в ближайшие годы в России вводятся в эксплуатацию крупнейшие газовые месторождения, то эколого-экономическую оценку целесообразно проводить на примере одного из таких месторождений. Объектом оценивания для данного исследования выбрано Бованенковское нефтегазоконденсатное месторождение, осваиваемое ОАО «Газпром» [3].

ОЦЕНКА РЕНТАБЕЛЬНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УХУ В ПРОЕКТЕ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В данном исследовании оценка технологий УХУ основывается на анализе рентабельности при заданной стоимости внедрения и обслуживания, норме прибыли, внутренних и внешних ценах и таможенных пошлинах. Рентабельность проекта оценивается по методике А.Д. Шеремета [4].

Рентабельность проекта без УХУ (Р1):

$$P1 = \frac{Д}{КВ + ЭР},$$

где Д – доходы от продажи продукции,
КВ – капитальные вложения,
ЭР – эксплуатационные расходы.

Рентабельность проекта с УХУ (Р2):

$$P1 = \frac{Д}{КВ_{УХУ} + ЭР_{УХУ}}$$

где Д – доходы от продажи продукции,
КВ – капитальные вложения с учётом внедрения технологий УХУ,
ЭР – эксплуатационные расходы с учётом использования технологий УХУ.

Экономическая оценка технологий производится на основе следующих соотношений:

1) $\frac{P2}{P1} \le 1$ – требуются государственные меры для поддержки внедрения технологий УХУ.

2) $\frac{P2}{P1} \ge 1$ – государственные меры для поддержки внедрения технологий УХУ не требуются.

Экологический эффект использования обозначенных технологий УХУ в проекте освоения Бованенковского

нефтегазоконденсатного месторождения определяется как масса предотвращённого выброса CO_2

Масса предотвращённого выброса CO_2:

$$М_{CO2} = М_{газ} * К_{извл.} * Д_{CO2}$$

где $М_{газ}$ – масса добытого газа,

$К_{извл.}$ – коэффициент извлечения (сепарации) CO_2,

$Д_{CO2}$ – доля CO_2 в газе месторождения.

Используемые при расчётах параметры сведены в таблицу.

№ п/п	Параметр, размерность	Значение
1	Продолжительность реализации проекта (плановый пуск с III квартала 2012 г.), годы	10
2	Норма прибыли для проектов с использованием традиционных технологий, %	20
3	Капитальные затраты на обустройство месторождения, в т.ч. без учёта затрат на установки добычи газа [5], млрд. $	14 12
4	Рост капитальных затрат на установки добычи газа с применением УХУ [1], %	64-100
5	Рост эксплуатационных расходов на добычу газа, с учётом применения УХУ [1], %	11-16
6	Содержание (по объёму) CO_2 в газе Бованенковского месторождения [6], %	0,1-2
7	Коэффициент извлечения (сепарации) CO_2 [1]	0,85
8	Таможенная пошлина [7], %	30
9	Средняя экспортная цена реализации газа (за вычетом НДС, акциза и таможенных пошлин) [5,8], $ / тыс.м^3	238,6
10	Средняя внутренняя (в пределах Таможенного союза России, Белоруссии и Казахстана) цена реализации газа (за вычетом НДС, акциза и таможенных пошлин) [5,8], $ / тыс.м^3	2012 г. – 136,87 2013 г. – 177,94 2014 г. – 238,6
11	Доля добытого газа, идущего на экспорт за пределы Таможенного союза, 2009 г. [5], %	41,36
12	Проектная мощность месторождения [5], млрд. м^3 / год	115

Для простоты расчётов продолжительность реализации проекта принимается за 10 лет с момента планового пуска месторождения, при этом в расчётах учитываются расходы на освоение газоносного участка, сделанные до этого времени. Норма прибыли для проектов без технологий УХУ принята ориентировочно

на основе анализа среднего значения этих параметров для отрасли за 2000-2010 гг. Содержание CO_2 в газе Бованенковского месторождения принимается как среднее обозначенного диапазона, т.е. 0,95%. Доля добытого газа, идущего на экспорт за пределы Таможенного союза принимается неизменной на расчётном периоде. Расчёты выполнены в ценах 2009 года.

Использование новых технологий удорожает добычу газа и норма прибыли снижается с 20% до 2%, т.е. $P2/P1 < 1$, что означает необходимость государственных мер для поддержки внедренияУХУ. При этом для Бованенковского месторождения объём CO_2, закачанного в геологические слои, составит 16,9 Мт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотренные технологии УХУ уступают традиционным в экономической эффективности, что ограничивает их практическое использование в современных условиях.

2. Рассмотренные технологии УХУ являются более экологически безопасными.

На основе полученных выводов делаются следующие рекомендации:

1. Внедрение технологий УХУ в газовой отрасли России в современных условиях требует принятия государством стимулирующих мер, в первую очередь, экономических.

2. Ориентиром для определения размера экономического стимулирования должна служить разница между прибылью от продаж газа, добытого на основе обычных технологий, и прибылью от продаж газа, произведённого с использованием технологий УХУ.

Следует отметить, что для повышения точности оценки требуются дополнительные данные о различных деталях технологического процесса в газовой отрасли России, условиях использования технологий УХУ в различных климатических зонах, динамику цен и другие сведения, могущие оказать существенное влияние на итоговую оценку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IPCC, 2005 - Bert Metz, Ogunlade Davidson, Heleen de Coninck, Manuela Loos and Leo Meyer (Eds.) Cambridge University Press, UK. pp 431.
2. Strategic Analysis of the Global Status of Carbon Capture and Storage Report 5: Synthesis Report. Final Report. Global CCS Institute, 2009.

3.Официальный сайт ОАО «Газпром» [Электронный ресурс]: 2011 – режим доступа: http://gazprom.ru/production/projects/deposits/bm/, свободный – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
4. Шеремет А.Д. Комплексный анализ хозяйственной деятельности, М.: Инфра-М, 2009.
5. Газпром – сильные позиции в непростые времена. Аналитический обзор ОАО «Газпром». Газпромбанк, М., 2010.
6. Чувилин Е.М., Перлова Е.В., Баранов Ю.Б. и др. Строение и свойства пород криолитозоны Южной части Бованенковского газоконденсатного месторождения. М., ГЕОС, 2007.
7. Постановление Правительства РФ от 23 декабря 2006 г. N 795. Российская газета, Федеральный выпуск, № 4261 от 29 декабря 2006 г.
8. Годовой отчёт ОАО «Газпром» за 2009 г. (утв. Советом директоров ОАО «Газпром» от 21 мая 2010 г. №1589). М., 2010.

УДК 556.55

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДНА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Е.Ю. Шикунова

Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, г. Москва

eshikunova@gmail.com

Ключевые слова: цифровая модель рельефа дна, водные объекты, методы интерполяции, анализ

ВВЕДЕНИЕ

Анализ морфометрических характеристик водных объектов является важной и актуальной задачей. Для расчета современных морфометрических характеристик, создания карт и последующего анализа данных удобно использовать цифровые модели рельефа (ЦМР) дна водных объектов, построенные на основе данных промерных работ.

Для построения ЦМР дна могут быть использованы различные геоинформационные программные продукты. В России наиболее популярны программы ArcGIS и ArcView компании ESRI и Surfer компании Golden Software. В каждом из программных продуктов представлены различные методы интерполяции. Целью работы является анализ и оценка методов интерполяции, представленных в каждом из программных продуктов.

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

В качестве основного источника информации при построении ЦМР были использованы данные промерных работ, проведенных экспедиционным отрядом ГОИНа.. Работы проводились с использованием специализированного промерного комплекса, включающего эхолоты, автономные GPS-приемники и экспедиционные компьютеры, оснащенные программным обеспечением, позволяющим осуществлять планирование и обработку результатов промерных работ непосредственно в полевых условиях. Промерные работы проводились по поперечным галсам, интервал между которыми составлял 500м, а в зоне населенных пунктов – 250м. [1].

Полученная информация была дополнена данными с топографических карт М 1:10 000 и 1:25 000, Атласа единой глубоководной системы и данными дистанционного зондирования Земли высокого пространственного разрешения (0,6-0,8 м/пкс). Данные, полученные с картографических источников, используются для векторизации береговой линии водохранилища, горизонталей рельефа суши и отметок высот, а также для повышения плотности покрытия отметок глубин.

ВЫБОР МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ЦМР

Современные геоинформационные программы предлагают способы построения ЦМР с использованием различных методов интерполяции данных. Для выбора оптимальной программы и метода интерполяции были проанализированы три программных продукта: Golden Surfer v.8.0, ArcView v. 3.2a, ArcMap v.9.3.1. Рассматривались следующие методы интерполяции: метод обратно взвешенных расстояний (ОВР), метод минимальной кривизны (сплайн), метод кригинга, метод естественного соседства (Natural Neighbor), метод ближайшего соседства, метод радиальных базисных функций (РБФ), метод триангуляции Делоне (ТИН) [2].

Эксперимент проводился на тестовых участках водохранилищ водораздельного бьефа Канала им. Москвы: Клязьминского и Учинского. Выбор тестового участка определялся характером рельефа дна и обеспеченностью данными. Были рассмотрены равнинный рельеф дна и рельеф дна с ярко выраженными русловыми формами. Из массива промерных данных на каждом участке искусственно изымался ряд точек, который впоследствии служил для оценки точности построения модели. Далее, для каждого массива были построены девятнадцать вариантов ЦМР, с использованием разных методов интерполяции. Для некоторых методов также использовалось построение с учетом и без учета анизотропии. Для каждого варианта ЦМР рассчитывалась разница между данными промерных работ и проинтерполированными данными.

Для анализа полученных результатов были проведены статистические расчеты. Для величин ошибок интерполяции каждой ЦМР были определены: среднее, максимум, минимум, дисперсия, среднее квадратическое отклонение. Ниже показан анализ, который проводился по величине среднего квадратического отклонения σ.

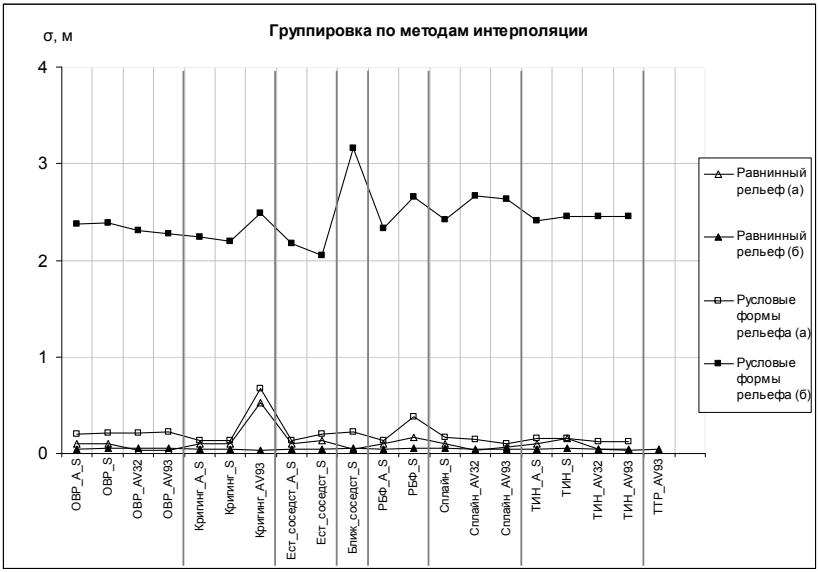


Рис. 1 Анализ методов интерполяции (а – анализ вдоль галса, б – анализ между галсами)

На рисунке 1 показаны значения величины σ для всех рассмотренных методов интерполяции для обеих форм рельефа, анализ проводился вдоль галсов и между ними. В таблице 1 показаны три оптимальных метода интерполяции для руслового и равнинного рельефа. Следует отметить, что методы ОВР показывают близкие по значениям σ результаты во всех программных продуктах, методы кригинга дают хорошие результаты в программном продукте Surfer, но в ArcMap v.9.3.1 величина σ стабильно больше. Метод естественного соседства дает хорошие результаты для всех форм рельефа, а вот метод ближайшего соседства показывает максимальную величину σ из всех рассмотренных методов, что позволяет отметить нежелательность его использования для интерполяции рельефа. Триангуляция в каждом из рассмотренных программных продуктов дает близкие результаты по величине σ. Метод сплайн дает хороший результат в случае равнинного рельефа, но при его использовании необходимо учесть, что для данного метода характерна экстраполяция данных в приграничных зонах построенной ЦМР.

Табл.1

Сравнение методов интерполяции по величине σ

Характер рельефа		Программный продукт	Метод интерполяции	Величина среднего квадратического отклонения σ, м
Равнинный рельеф без ярко выраженных форм	Анализ по галсу	ArcView v 3.2 a	Минимальной кривизны (Сплайн)	0.032
		ArcView v 3.2 a	Обратно взвешенных расстояний	0.037
		ArcView v 3.2 a, ArcMap v 9.3.1	Триангуляции	0.041
	Анализ между галсами	ArcMap v 9.3.1	Триангуляции	0.035
		ArcMap v 9.3.1	Кригинг	0.036
		ArcMap v 9.3.1	Минимальной кривизны (Сплайн)	0.042
Рельеф с ярко выраженными русловыми формами	Анализ по галсу	ArcMap v 9.3.1	Минимальной кривизны (Сплайн)	0.104
		ArcView v 3.2 a, ArcMap v 9.3.1	Триангуляции	0.128
		Golden Surfer v.8	Кригинг	0.135
	Анализ между галсами	Golden Surfer v.8	Естественного соседства	2.054
		Golden Surfer v.8	Кригинг	2.199
		ArcView v 3.2 a	Обратно взвешенных расстояний	2.307

В таблицу 2 отобраны методы с минимальным показателем σ для каждого рассмотренного программного продукта. На рисунке 2 показаны величины σ, сгруппированные по рассмотренным программным продуктам. Можно отметить, что для интерполяции рельефа с ярко выраженными русловыми формами лучший результат в программном продукте Surfer дает метод естественного соседства, а худший – метод ближайшего соседства, для равнинного рельефа результаты расчетов очень близки.

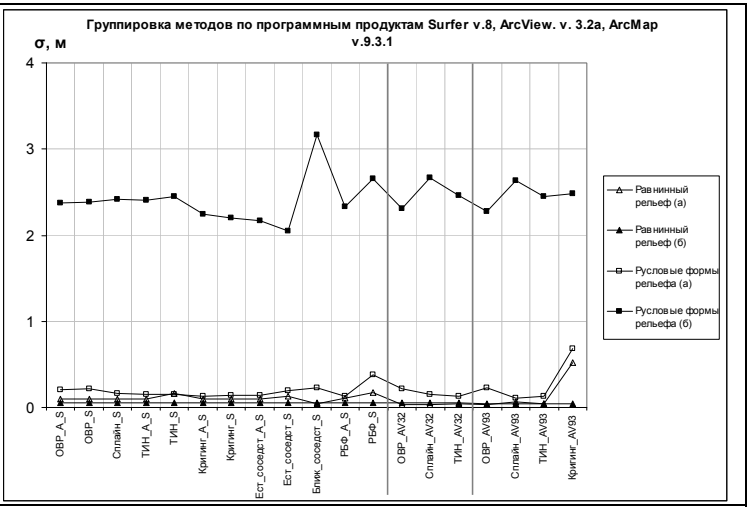


Рис. 2 Анализ методов интерполяции, сгруппированных по программным продуктам
(а – анализ вдоль галса, б – анализ между галсами)

Табл.2

Выбор оптимального метода интерполяции по величине σ для каждого рассмотренного программного продукта

Характер рельефа		Программный продукт	Метод интерполяции	Величина среднего квадратического отклонения σ, м
Равнинный рельеф без ярко выраженных форм	Анализ по галсу	ArcView v 3.2 a	Минимальной кривизны (Сплайн)	0.032
		ArcMap v 9.3.1	Обратно взвешенных расстояний	0.037
		Golden Surfer v.8	Ближайшего соседства	0.043
	Анализ между галсами	ArcView v 3.2 a	Минимальной кривизны (Сплайн)	0.0437
		ArcMap v 9.3.1	Триангуляции	0.035
		Golden Surfer v.8	Обратно взвешенных расстояний	0.0476
Рельеф с ярко выраженными русловыми формами	Анализ по галсу	ArcView v 3.2 a	Триангуляции	0.128
		ArcMap v 9.3.1	Минимальной кривизны (Сплайн)	0.104
		Golden Surfer v.8	Кригинг, Естественного соседства	0.135/0.137
	Анализ между галсами	ArcView v 3.2 a	Обратно взвешенных расстояний	2.307
		ArcMap v 9.3.1	Обратно взвешенных расстояний	2.272
		Golden Surfer v.8	Естественного соседства, кригинг	2.054/2.199

В ArcView v. 3.2 и ArcMap v.9.3.1 для интерполяции рельефа с ярко выраженными русловыми формами лучший результат показывают методы ОВР и ТИН, для равнинного рельефа результаты расчетов разными методами опять же очень близки.

Анализ позволил отметить закономерность общую для всех методов и программных продуктов. Для рельефа с ярко выраженными русловыми формами значения величины σ при анализе проинтерполированных значений между галсами значительно превышают значения σ как при анализе вдоль галса, так и при анализе равнинного рельефа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о том, что единого метода интерполяции, наилучшим образом подходящего для всех форм рельефа дна водных объектов, не существует.

Для водных объектов с ярко выраженными русловыми формами рельефа дна оптимальным представляется использовать программный продукт Golden Surfer и метод интерполяции естественного соседства с учетом анизотропии для каждого межгалсового участка.

Для водных объектов с равнинным рельефом дна возможным представляется использовать программные продукты ArcView v.3.2a – метод интерполяции сплайн, ArcMap v.9.3.1 – метод триангуляции, Golden Surfer v.8.0 - методы обратно взвешенных расстояний, кригинга и ближайшего соседства без учета анизотропии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Землянов И.В., Горелиц О.В., Павловский А.Е., Шикунова Е.Ю. Использование геоинформационных технологий для оценки современных морфометрических характеристик водных объектов. – в кн. «Труды Государственного Океанографического Института», "Исследования океанов и морей" , выпуск No. 212, под редакцией В.Ф. Комчатова.–М., 2009 г.
2. Surfer 8. User’s guide. Contouring and 3d Surface Mapping for Scientists and Engineers. – USA: Golden Software, Inc., 2002.

УДК 551.511.61:576.1

О трех-стадийном описании процесса турбулентной диффузии кристаллизующего аэрозоля в облачной среде. Абшаев А.М., Садыхов Я.А., Малкарова А.М. // Труды ИПГ. - 2011, с. 146-152

Рассматривается параметризация турбулентного распространения аэрозоля в облачной среде на основе трех стадийного описания диффузионного процесса, где первая стадия описывает диффузию при малых временах, вторая стадия описывает режим диффузии при промежуточных временах, сравнимых с лагранжевым временным масштабом, и третья стадия охватывает диффузионный процесс при больших временах диффузии. Используются полуэмпирические уравнения переноса-диффузии, учитывающие особенности диффузионных процессов на разных стадиях. Влияние термической и влажностной стратификации на вертикальный турбулентный режим предлагается учитывать посредством модифицированного числа Ричардсона. Проведено численное исследование распространения кристаллизующего аэрозоля в мощном конвективном облаке применительно к технологии защиты от града.

Ил. 1. Библ. 3.

УДК 551.509.9

Защита от радиационных заморозков слоем искусственного аэрозоля.

Абшаев М.Т., Малкаров Х.Ж., Созаева Л.Т. // Труды ИПГ. - 2011, с. 153-157

Рассматривая вопросы оптимизации методов защиты от радиационных заморозков, основанных на создании искусственных дымовых завес и туманов, задача состоит в том, чтобы найти дисперсность искусственного аэрозоля, которая обеспечит максимальный парниковый эффект при минимальных затратах диспергируемого аэрозоля, т.е. обеспечит максимальное поглощение и отражение инфракрасного излучения поверхности земли в окне прозрачности атмосферы $8{,}5 < \lambda < 11$ мкм.

Ил. 1. Библ. 10

УДК 551.509.3.003.13

Оценка вклада и экономической полезности спутниковой информации при прогнозе конвективных явлений. Агуренко А.О. // Труды ИПГ. - 2011, с. 158-164

В данной работы выполнена количественная оценка экономической полезности спутниковой информации для прогнозов отдельных локальных конвективных явлений. Данные для оценок получены в результате эксперимента, в ходе которого прогноз выполнялся с использованием и без использования спутниковой информации. По различным критериям экономической полезности вклад спутниковых данных в точность и оправдываемость прогнозов составляет от 15% до 60%.

Ил. 5. Табл. 1. Библ. 3

УДК 551.501.81

Оценка степени градоопасности конвективных облаков радиолокационными методами. Аджиева А.А., Машуков И.Х, Шаповалов В.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 165-169

Получена закономерность, позволяющая определить степень градоопасности конвективного облака. Выявлена зависимость между средним диаметром града и количеством молниевых разрядов в минуту, при грозовой активности. Найдено корреляционное соотношение и численные коэффициенты, составлено уравнение. Определено, что в зависимости от синоптических ситуаций от 21 до 27 % из всех облачных ячеек, переходящих в грозовые состояния, становятся градоопасными.

Ил. 4. Библ. 2

УДК 504.054

Уровни загрязнения почвенного покрова водоохранных зон Чебоксарского водохранилища на территории Нижегородской области. Андриянова Н.В., Королева Е.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 229-234

Представленный доклад основан на данных анализов проб почвенного покрова и водных объектов, выполненных организацией, имеющей лицензию на осуществление деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ним областях, в аккредитованных лабораториях. Он затрагивает актуальную на сегодняшний день проблему, связанную с загрязнением водоохранных зон и позволяет разработать модель транспорта веществ и попадания их в воду.

Ил. 1 Библ. 6

УДК 504.054

Экологические последствия лесных и торфяных пожаров в Нижегородской области летом 2010 г. Андриянова Н.В., Шахова И.М. // Труды ИПГ. - 2011, с. 235-241

Летом 2010 г. во многих субъектах Российской Федерации, в том числе и Нижегородской области, сложилась чрезвычайная ситуация, связанная с горением лесов и торфяников. Предлагаемая работа посвящена оценке воздействия природных пожаров на компоненты окружающей среды, прежде всего на атмосферный воздух.

Ил. 3. Табл. 1. Библ. 2.

УДК 539.107 + 541.126

Модель динамики электронов с энергией более 100 кэВ при развитии циклотронной неустойчивости. Барсуков Ю.С. // Труды ИПГ. - 2011, с. 91-100

В работе, в качестве модели использовано решение системы из двух уравнений: уравнение диффузии по питч углам и обыкновенное дифференциальное уравнение изменения со временем амплитуды волны свистящей в атмосфере. Моделируется развитие уиклотронной неустойчивости во внешнем радиационном поясе.

Ил. 6. Библ. 2

УДК 539.107 + 541.126

Экспериментальное исследование высыпаний энергичных электронов по данным спутника «Метеор 3М №1» за 2002 год. Барсуков Ю.С. // Труды ИПГ. - 2011, с. 101-104

В работе проанализированы события высыпаний энергичных электронов из радиационных поясов. Использованы данные полученные с помощью радиометрической аппаратуры установленной на борту спутника «Метеор 3М №1» за 2002 год. Оцениваются статистические характеристики результатов наблюдений: L-B-координаты и долгота событий.

Ил. 4. Библ. 1

УДК 621.396.+ 550.388

Развитие метода неголоморфных функций для моделирования распределений относительных вариаций критической частоты области F2 среднеширотной ионосферы и эффективности прогнозов МПЧ. Батаков А.М. // Труды ИПГ. - 2011, с. 15-19

Для относительных вариаций критической частоты рассматривается статистическая модель, основанная на методе неголоморфных функций. Предполагается, что на полуосях функции плотности вероятности используется одна и та же аналитическая модель, но с разными масштабами. Для практического использования модели применен метод интерполяции в коэффициентах линейной связи между эксцессом и квадратом асимметрии моделей иного класса. Показывается что на плоскости третьего и четвертого инвариантов характерной «точки» значений для множества относительных вариаций критической частоты и для эффективности моделей располагаются примерно в одной и той же области.

Ил. 3. Библ. 6

УДК 574.504.75.05

Сравнение степени воздействия выбросов основных и специфических загрязняющих веществ на атмосферный воздух в виде экономической деятельности «Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых». Бичекуев О.С. // Труды ИПГ. - 2011, с. 242-252

Проанализированы выбросы в атмосферный воздух основных и специфических загрязняющих веществ в виде экономической деятельности «Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых» за период 2004-2008 годы. Рассчитаны приведённые массы загрязняющих веществ. Проведено сравнение вредности основных и специфических загрязняющих веществ. Выделено загрязняющее вещество, которое вносит основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха в виде экономической деятельности «Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых».

Ил. 1. Табл. 6. Библ. 9

УДК539.1.01

Оценка эффективного сечения поглощения молекулярного кислорода в области длин волн вблизи линии Лайман-альфа. Важенин А.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 105-110

Существование сложной структуры профиля линии Лайман-альфа приводит к необходимости пересмотра данных о сечении поглощения при расчётах с использованием данных об излучении, полученных с низким спектральным разрешением. В этом случае целесообразно использовать эффективное сечение поглощения, рассчитываемое с учётом тонкой структуры спектра интенсивности излучения в области 1210-1220 Å и подробных данных о сечении поглощения молекулярного кислорода. Анализ проведённых расчётов показал, что за величину эффективного сечения поглощения в диапазоне от 1210 до 1220 Å можно принять величину, примерно равную 1,7×10–20 см2, а в более узком диапазоне от 1215 до 1226 Å – величину ~1,4×10–20 см2, что примерно в 1,5 раза больше, чем величина сечения поглощения, обычно используемая для линии Лайман-альфа. Это небольшое на первый взгляд изменение может внести существенные изменения в результаты аэрономических расчётов.

Ил. 6. Библ. 7.

УДК 551.510.535:629.783

Влияние генераторов частоты геодезических GNSS-приёмников на ионосферные измерения. Васильев А.Е. // Труды ИПГ. - 2011, с. 50-55

В настоящее время высокоорбитальные навигационные системы используются не только в целях навигации, но и для исследования ионосферы. Однако использование простых кварцевых генераторов частоты в геодезических навигационных приёмниках вынуждает учитывать некоторые особенности получаемых данных и проводить вычисления, следуя определённым рекомендациям. В работе продемонстрированы примеры искажений допплеровских измерений по сигналам GPS, ГЛОНАСС и геостационарных спутников, а также связь скорости хода генератора с температурой и результаты корректировки через поправку к часам приёмника.

Ил. 5. Библ. 2

УДК 621.396

Расслоение области F2 среднеширотной ионосферы при наклонном воздействии мощных радиоволн. Васькин А.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 20-25

Рассматриваются данные уникального эксперимента по нагреву области F2 ионосферы над Москвой мощным пучком радиоволн, излучённым с Юга Украины. Контроль за экспериментом осуществлялся станцией вертикального зондирования, расположенной в Подмосковье. В отличие от использования прежних нестационарных функций интерпретация эксперимента осуществляется с использованием феноменологических функций, независящих от времени.

Ил. 2. Библ. 5

УДК 550.385

Геомагнитные пульсации в точке стояния метеорологического геостационарного спутника «ЭЛЕКТРО». Воронин А.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 111-117

Разработано программное обеспечение для обработки ежеминутных измерений трех компонент геомагнитного поля с борта геостационарного спутника «Электро». После корректировки полученных магнитометрических данных, были выбраны непрерывные участки данных, на которых был проведен спектральный анализ. После цифровой фильтрации данных, в отдельные периоды времени с 1997-1998 в точке стояния спутника «Электро» были обнаружены геомагнитные пульсации типа Pc5.

Ил. 11. Библ. 2

УДК 551.501

Лидарные методы зондирования атмосферного озона. Галкин К.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 118-124

Давно известно, какую важную роль озон играет в атмосфере Земли. Для получения детальной информации о состоянии озонового слоя и возможности прогнозирования изменений в нем, необходимы соответствующие методы и измерительные средства, способные осуществлять мониторинг вертикального распределения озона с высоким временным и пространственным разрешением. Одним из наиболее перспективных инструментов такого рода являются лидарные системы. В данном докладе рассмотрена методика получения высотных профилей распределения озона, с помощью лидара дифференциального поглощения.

Ил. 5. Табл. 1. Библ. 7

УДК 504.064.4:504.38.05

Улавливание и захоронение диоксида углерода в России. Говор И.Л. // Труды ИПГ. - 2011, с. 253-259

В представленной работе проанализирована информация о ведущейся в России деятельности в области технологии улавливания и хранения углекислого газа, а так же рассмотрены ее основные возможности и перспективы. Так как УХУ является сравнительно новой и недостаточно изученной технологией, для определения ее потенциала принят во внимание уровень развития основных конструктивно близких технологий, применяемых в России. В результате установлено, что работы в области УХУ практически не ведутся, несмотря на большие возможности для ее изучения и внедрения на территории России. Автором были выделены некоторые регионы и технологии, где такая деятельность может быть актуальной.

Ил. 1. Библ. 11

УДК 551. 31 1.21.

Результаты расчетов коэффициента селеактивности в Карачаево-Черкесской республике. Гяургиева М.М., Кондратьева Н.В., Тлугачев Т.Р. // Труды ИПГ. - 2011, с. 169-175

Данная работа является продолжением начатых исследований по районированию территории Северного Кавказа по селевой активности. Нами был создан архив данных о сходе селей в КЧР за 50 лет. Его основой являются архивные данные Северо-Кавказского ЦГМС-Р и ГУ ВГИ, а так же полевые исследования авторов. На основании анализа временных рядов проявления селей в типичном для Западного Кавказа бассейне реки Теберда, в работе представлены полученные количественные значения селевой активности в регионе КЧР. По полученным результатам оценки селевой активности притоков построен график зависимости селевой активности от площади селевого бассейна.
Ил. 1. Табл. 1. Библ. 8

УДК 550.388.2
Сейсмогенная неоднородность области F2 ионосферы, образовавшаяся незадолго до новозеландского землетрясения 21.04.1999 года и обнаруженная наземными и спутниковой ионосферными станциями. Давиденко Д.В. // Труды ИПГ. - 2011, с. 74-79
Рассматривается редкое событие – пересечение траектории сейсмогенной одиночной макромасштабной ионосферной неоднородности и траектории орбитального комплекса (ОК) «Мир», несущего ионосферную станцию. Показывается, что в этих случаях на ионограммах спутниковой станции обнаруживается ранее неизвестное явление возникновения замкнутого на искусственный спутник Земли (ИСЗ) тракта распространения радиоволн многих частот, получившее название «задержанный нижний след» (ЗНС). Предполагается влияние краевой части сейсмогенной одиночной макромасштабной ионосферной неоднородности положительного знака на происхождение этого явления. Приводится методика обработки данных, полученных на мировой сети АИС для выявления сейсмогенного объекта в ионосфере и определения траектории его перемещения.
Ил. 3. Библ. 5

УДК 504.054
Содержание загрязняющих веществ в донных отложениях залива Гренфьорд арх. Шпицберген. Демешкин А.С. // Труды ИПГ. - 2011, с. 260-265
Произведена оценка содержания основных загрязняющих веществ в донных отложениях залива Гренфьорд арх. Шпицберген. Показано, что деятельность угледобывающих предприятий и связанная с ней инфраструктура на данный момент не оказывает существенного влияния на прилегающую акваторию залива Гренфьорд, но не исключается возможность поступления загрязняющих веществ с территории поселка Баренцбург в дальнейшем.
Ил. 2. Табл. 1. Библ. 4

УДК 550.388.2 + 551.594

Обоснование приборного состава для наноспутника, предназначенного для регистрации краткосрочных предвестников землетрясений в ионосфере. Джумагалиев А.В. // Труды ИПГ. - 2011, с. 80-85

Известно, что землетрясение– это процесс, который готовится более или менее продолжительное время и сопровождается изменениями геофизических параметров. Было принято решение о создание группировки спутников для регулярного мониторинга космической плазмы и аномалий, связанных с землетрясениями. В статье приводится научное обоснование выбора приборного состава для наноспутника. Представлена в виде схемы модель комплексных связей Литосфера-Атмосфера-Ионосфера.

Ил. 2. Схема 1. Библ. 18

УДК 528.88

Комплексное использование наземной агрометеорологической информации и спутниковых данных для оценки урожайности зерновых культур. Клещенко А.Д., Савицкая О.В. // Труды ИПГ. - 2011, с. 204-211

Рассматривается новая технология оценки урожайности зерновых культур, основанная на комплексном использовании наземной агрометеорологической информации и спутниковых данных. Исследования проводились по трем управлениям гидрометеослужбы: Северокавказского, Приволжского и Центральных Черноземных Областей. Составлен ежедекадный расчет урожайности зерновых культур в течение вегетационного периода по регрессионным зависимостям и году-аналогу. В среднем ошибка расчета не превышает 10%. Проведена оценка устойчивости работы уравнений.

Табл. 3. Библ. 2

УДК 551.435.126+556.542.

Растительность как индикатор климатических изменений в дельте Терека по ДДЗ. Козлова М.В. // Труды ИПГ. - 2011, с. 266-271

В работе исследованы отдельные аспекты многолетних изменений растительного покрова дельты Терека. Анализ данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) и данных полевых исследований показал, что изменения растительного покрова определяются природными (климатическими и гидрологическими) и антропогенными факторами. Подтверждено, что исследование многолетней динамики растительного покрова на основе ДДЗ может дать достоверную информацию о климатических изменениях в исследуемом бассейне.

Работа выполнена в Лаборатории автоматизированных систем ФГУ «ГОИН».

Ил. 2, Библ. 6.

УДК 550.338.2

Зависимость критической частоты foF2 в различные моменты суток от солнечной активности. Константинова А.В. // Труды ИПГ. - 2011, с. 26-34

Анализируется изменение отношений критических частот слоя *F*2, *foF*2 с уровнем солнечной активности для разных пар моментов местного времени *T*1 и *T*2, разделенных интервалом 12 часов, для двух сезонов (зимнего и летнего). Рассмотрены данные 14-и ионосферных станций восточного полушария. Получено, что, как правило, ход *foF*2(*T*1)/*foF*2(*T*2) с индексом солнечной активности *F*10.7 различен зимой и летом. Рассмотрено полученное из экспериментальных данных изменение *foF*2(*T*1)/*foF*2(*T*2) с *F*10.7 с позиций современной теории образования слоя *F*2. Показано, что большинство наблюдаемых характеристик этого изменения объясняются в рамках указанной теории. Однако, обнаружены и особые случаи поведения *foF*2(*T*1)/*foF*2(*T*2) с солнечной активностью, которые пока не находят своего физического объяснения и могут свидетельствовать о существовании дополнительных (неизвестных пока) процессов в физике слоя F2.

Ил. 7. Табл. 3. Библ. 4

УДК 551.501.81

Восстановление профилей диэлектрической проницаемости атмосферы по оценкам рефракционной ошибки радиолокационных измерений координат космических объектов. Корыстин А.А., Чернышев С.В. // Труды ИПГ. - 2011, с. 125-129

Сформулирована задача восстановления профилей диэлектрической проницаемости атмосферы по оценкам рефракционной ошибки радиолокационных измерений координат космических объектов. Предложен способ решения этой задачи, и в рамках него - способы решения частных задач: оценивания текущих рефракционных ошибок радиолокационных измерений и восстановления вертикальных профилей диэлектрической проницаемости. Определены основные проблемные моменты в решении задачи и варианты их разрешения.

Библ. 9

УДК 629.782.519.711

Расчет эмиссий и захоронения углерода при неэнергетическом использовании топлива в промышленности. Кузовкин В.В. // Труды ИПГ. - 2011, с. 272-277

Один из главных источников поступления парниковых газов в атмосферу связан с сжиганием ископаемого топлива. Однако, помимо сжигания существуют также и другие варианты использования ископаемого углерода. В руководящих принципах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). предложен подход для расчета выбросов и захоронения. Однако подобный подход имеет много неточностей и приближений. Цель статьи – альтернативный расчет выбросов и накопления углекислого газа.

Табл. 1 Библ. 9

УДК 551.501.815

О проблеме определения поля ветра с использованием данных доплеровского метеорологического радиолокатора. Кулешов Ю.В., Девяткин А.М., Чернышев С.В., Корыстин А.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 176-181

Предложен способ расчёта поля ветра на основе измерений доплеровских скоростей доплеровским метеорологическим локатором. Представлены проблемы и перспективы использования данного способа для проведения метеорологического обеспечения потребителей.

Ил. 1. Библ. 7

УДК 502.06

Экологические последствия аварийных разливов нефти на магистральных нефтепроводах. Кунаев И.Н. // Труды ИПГ. - 2011, с. 278-283

В статье рассматриваются экологические последствия от аварийных разливов нефти на магистральных нефтепроводах. Рассчитываются количественные характеристики «средней аварии» по статистическим данным, анализируется воздействие среднестатистической аварии на объекты ОС: почва, атмосфера, водные системы, флору и фауну, а также определяется ущерб от возможного разлива.

Ил. 3. Библ. 5

УДК 551.577.5+551.510.42

Особенности формирования загрязнения снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора арктических морей. Куртеева Е.И. // Труды ИПГ. - 2011, с. 284-288

Обобщены результаты мониторинга снежного покрова 43 прибрежных и островных гидрометеорологических станций на территории деятельности Северного и Мурманского управлений гидрометеослужбы за период с 1988 г. по 2008 г. Выявлен существенный значений концентраций веществ. Повсеместно значительная связь проявляется между концентрациями хлоридов и ионов натрия, что указывает на пространственную и временную неоднородность химического состава снежного покрова.

Ил. 1. Табл. 1. Библ. 3.

УДК 551.510.413

Точность моделирования критической частоты слоя F2 с использованием адаптируемой модели полного электронного содержания плазмосферы и СРНС GPS. Лобанов К.А., Подковырин А.Н. // Труды ИПГ. - 2011, с. 56-61

В статье рассматривается проблемная ситуация, обусловленная недостаточной точностью описания эмпирическими моделями состояния ионосферы. В рамках способа адаптации модели ионосферы с помощью эффективного индекса солнечной активности (СА), определяемого путём измерений полного электронного содержания (ПЭС) трансионосферными методами, при расчёте эффективного

индекса СА предлагается уточнять ПЭС с помощью разработанной адаптируемой модели ПЭС плазмосферы. Выигрыш при уточнении модели показан на примере моделирования значений f_0F2.
Ил. 2. Табл. 0. Библ. 7.

УДК 651.529
Радиационный мониторинг на среднерусской возвышенности через 20 лет после аварии на Чернобыльской АЭС. Манзон Д.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 289-293
В 2009-2010 гг. для оценки скорости и значимости вертикальной миграции ^{137}Cs за 20-летний период лабораторией ИГКЭ был проведён радиационный мониторинг и послойный отбор проб. В ходе работы было осуществлено сопоставление данных, получаемых различной измерительной аппаратурой в экспедиции (РКСБ-104 и ДРГ-ОДТ, «Сталкер», полевой гамма-спектрометр «ORTEC») и на лабораторном гамма-спектрометре «Канберра».
Ил. 2.Табл. 0.Библ. 3.

УДК 551.509.313.314
Метод многомодельного среднесрочного прогнозирования полей метеорологических величин. Моисеева Н.О. // Труды ИПГ. - 2011, с. 182-188
Кратко освещены этапы развития методов комплексирования прогнозов погоды. Рассмотрены различные подходы при оценивании весовых коэффициентов для включения каждого из методов в многомодельный ансамбль. Дано обоснование использования статистической модели неравноточных наблюдений применительно к решению задачи комплексирования полей метеорологических величин. Приведены результаты численных экспериментов по применению метода многомодельного среднесрочного прогнозирования барических полей, которые показали повышение успешности разрабатываемых прогнозов на сроки до 7 суток.
Табл. 2 Библ. 3

УДК 551.510.535:629.783
Анализ возможностей использования глобальных навигационных систем для диагностики и исследования процессов в ионосфере. Молодцов Д.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 62-66
В настоящее время глобальные навигационные системы используются не только в целях навигации, но и для исследования ионосферы. С их помощью появляется возможность проводить измерения непрерывно во времени и пространстве в любой точке земного шара. В работе продемонстрированы способы определения полного электронного содержания и способы решения обратных задач.
Библ. 2

УДК 528.88:631.559:633

Использование спутниковой информации в моделях биопродуктивности зерновых культур для расчета интенсивности фотосинтеза. Найдина Т.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 189-194

Рассмотрена возможность использования спутниковой информации в моделях биопродуктивности зерновых для расчета интенсивности фотосинтеза. Установлена взаимосвязь наземных и спутниковых данных. Показано, что вегетационный индекс NDVI пахотных земель достаточно хорошо отражает сезонный ход фотосинтеза всех сельскохозяйственных культур. Представлены результаты использования спутниковой информации в действующей модели прогнозирования урожайности яровой пшеницы.
Ил. 1. Табл. 1. Библ. 7.

УДК 550.3

Сейсмогенное воздействие на область F2 атмосферы. Поздняков Д.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 86-89

В статье представлена гипотеза о 10-14 часовом упреждении землетрясений. В процессе работы был проведён статистический анализ суточного распределения землетрясений совместно с анализом данных о возмущениях в ионосфере. По полученным результатам представлена цепочка гипотез, которая поэтапно описывает появление среднего времени упреждения по отношению к землетрясению – 12 часов. В заключение предложена модельная схема запуска землетрясения.
Ил. 3. Библ. 7

УДК 551.510.413

Обоснование возможности использования методов космической оптической томографии для восстановления пространственной структуры эмиссионного слоя в окрестности солнечного терминатора. Полуаршинов М.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 67-72

В статье дается обоснование принципиальной возможности восстановления внутренней структуры (пространственного распределения объёмной светимости) атмосферного эмиссионного слоя по его изображениям, полученным с орбиты космического аппарата. Для обоснования этой возможности приводится решение модельной задачи — восстановление пространственной структуры дневной эмиссии (762 нм) атмосферной полосы (0,0) молекулярного кислорода в окрестности солнечного терминатора при помощи метода томографической реконструкции ART.
Ил. 6. Библ. 1

УДК 501/502

Сравнение методов и оценка стоимости создания стратосферного аэрозольного слоя для целей инженерии климата. Ревокатова А.П. // Труды ИПГ. - 2011, с. 195-203

В данной работе рассматриваются технические возможности использования слоя стратосферных аэрозолей для стабилизации

современного климата. Описываются основные способы доставки газов-предшественников на необходимые высоты. Показано, что более близким к реализации является вариант использования современных крупнотоннажных самолетов. В работе обсуждаются физические характеристики H_2S и SO_2 с точки зрения эффективности их использования для целей инженерии климата. Итогом работы является расчет стоимости применения данной технологии.
Табл. 3 Библ. 15

УДК 551.583
Взаимодействие климата Европы и температуры воды в Северной Атлантике. Салугашвили Р.С. // Труды ИПГ. - 2011, с. 212-218
В работе рассматривается влияние Северной Атлантики на климат Европы. Предварительно сделано районирование территории первого Естественного синоптического района, с помощью метода объективной классификации, на 15 районов, по результатам которого, рассчитаны коэффициенты взаимной корреляции температуры в районах Европы, с температурой поверхности воды в Атлантике. Изменения температуры Атлантики вызывают естественные колебания климата Европы, по величине превосходящие трендовые изменения климата, которые принято считать результатом антропогенных воздействий.
Ил. 5. Библ. 3.

УДК 532.5.013
Расчет гидравлических характеристик р. Унжа с использованием программного комплекса HEC-RAS. Сапожникова А.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 294-299
Необходимость моделирования в речных системах связана с наличием ряда задач по информационному обеспечению в сфере управления водными ресурсами. В ходе проведения исследования была создана модель устьевого участка р. Унжа с помощью компьютерной программы HEC-RAS. Анализ полученных гидравлических характеристик позволил оценить характер изменения морфометрических и гидродинамических параметров, а также динамику уровневого режима в разные фазы водности.
Работа была выполнена в лаборатории автоматизированных систем ФГУ «ГОИН».
Ил. 3. Табл. 1. Библ. 3

УДК 551.590.2
Выбор подхода для разработки модели комплексного воздействия космической среды на материалы космических аппаратов. Скороходов И.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 130-134
В настоящее время все более актуальной становится проблема учета влияния окружающей среды на функционирование различных технических систем. Наиболее остро она стоит для космических систем, функционирующих в условиях воздействия гелиогеофизических факторов (ГФФ) околоземного космического

пространства, особенно в максимумах солнечной активности. Разработанную в ходе дальнейших исследований модель комплексного воздействия ГФФ на материалы и бортовую аппаратуру КА планируется применить к существующей системе мониторинга гелиогеофизической обстановки.
Ил. 4. Табл. 1. Библ. 13

УДК 504.064.36
Геоинформационное картирование экологического состояния водных объектов Волжской системы водоснабжения г. Москвы. Строков А.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 300-304
При интерпретации результатов мониторинга водных объектов активно распространяется практика создания ГИС, позволяющих получать экологические карты на основе информации пунктов наблюдательной сети. Порой число створов для конкретного водного объекта не позволяет строить достоверные карты, что побуждает перейти к другой системе отображения экологической информации с использованием интегральных показателей. Для этого предложено использование системы «условных знаков», используемой в компьютерных системах и бумажных аналитических документах.
Работа выполнена в лаборатории автоматизированных систем ФГУ «ГОИН».
Ил. 2. Библ. 3.

УДК 504.064
Определение класса опасности осадка и оценка проекта очистных сооружений очистки шахтных вод ОАО «Гайский ГОК» Телегин И.В. // Труды ИПГ. - 2011, с. 305-309
Ввиду того что технология добычи и переработки руды на Кировском месторождении не исключает возможности загрязнения подземных вод, инициирующей основой работы является выявление всех возможных и основных потенциальных очагов локального загрязнения подземных вод на прилегающей территории. Последующей решенной задачей в работе стало создание методики мониторинга для данного объекта и оценка ее рациональности, определение объема и условий производства проектируемых работ согласно действующим нормативно-методическим документам.

УДК 551.510.535:629.783
Локальная адаптация модели IRI по данным ВНЗ к реальным ионосферным условиям. Тетерин К.А. // Труды ИПГ. - 2011, с. 35-41
Ввиду распространенности использования эмпирических моделей при осуществлении кв. радиосвязи на дальние расстояния и в задачах обнаружения целей, возникла необходимость адаптации этих моделей к гео-гелиофизическим условиям, чтобы можно было пользоваться этими моделями в оперативной работе. В качестве эмпирической модели берется модель ионосферы IRI 2001. Один из способов

адаптации – коррекция некоторых параметров модели, например числа солнечных пятен и глобального ионосферного индекса. Коррекция в данной статье осуществляется с привлечением данных возвратно-наклонного зондирования.
Ил. 3. Библ. 4.

УДК 504.064.262.5
Мониторинг аварийного загрязнения морской среды нефтью на примере мексиканского нефтяного предприятия PEMEX. Тихерина Борисенко Х. // Труды ИПГ. - 2011, с. 310-314
Рассмотрен опыт Мексиканской нефтяной компании PEMEX по организации мониторинга окружающей среды в зоне действия объектов по добыче нефти. Представлен опыт работ по мониторингу и основные результаты исследований, проведенных после аварийного разлива нефтепродуктов в акватории Мексиканского залива на нефтяной платформе в 2007 г. Приведены основные выводы о влиянии аварийного загрязнения на состояние биоресурсов.
Библ. 5.

УДК 550.8.08
Инструментальный контроль потоков парниковых газов в лесных экосистемах. Фадеев Н.К. // Труды ИПГ. - 2011, с. 315-324
Рассмотрены перспективы инструментального контроля потоков парниковых газов в лесных экосистемах при помощи метода вихревой ковариации в рамках системы мониторинга природной среды. Представлены результаты корреляционного анализа массива данных и выполнен анализ связи между измерениями отдельных показателей, характеризующих состояние природной среды. Определены параметры, по которым можно контролировать корректность работы инструментально-аналитического комплекса в целом. На основе выполненного анализа сделан вывод о возможности использования метода вихревой ковариации для целей мониторинга природной среды.
Табл. 3. Библ. 5.

УДК 551.576
Некоторые результаты лабораторного исследования роста града в начальной стадии его образования. Хучунаев А.Б. // Труды ИПГ. - 2011, с. 219-223
Приставлены результаты лабораторного моделирования, начальной стадии роста града при различных значениях температуры, водности, концентрации кристаллов. Получено что при увеличении концентрации кристаллов в камере с 10^7 м$^{-3}$ до 10^8 м$^{-3}$ происходить увеличению скорости роста града в среднем на 7%. и при увеличение температуры в камере с -8 ^{0}C до -4 ^{0}C скорости роста массы градин увеличивается на 27%.
Ил. 2. Библ. 1

УДК 551.576

Исследование льдообразующих свойств кристаллогидратов. Хучунаев А.Б. // Труды ИПГ. - 2011, с. 224-227

Приводится аппаратура и методика исследования льдообразующих свойств кристаллогидратов KJ, CaCl, $C_6H_8O_7$. В результате лабораторных исследований получено, что температурный порог льдообразования кристаллогидратов находится в интервале -2 - -3 ^oC. Удельный выход льдообразующих ядер кристаллогидрата KJ при температурах -3 - -5 ^oC составляет 10^{13} частиц с грамма реагента, что значительно выше выхода частиц, используемых в настоявшее время реагентов.

Ил. 2. Библ. 2

УДК 504.7

Эколого-экономическая оценка технологий улавливания и захоронения углекислого газа в газовой отрасли России. Шадров К.Н. // Труды ИПГ. - 2011, с. 325-330

Основным антропогенным источником атмосферных выбросов диоксида углерода является использование ископаемого топлива, способствующее росту атмосферных концентраций парниковых газов. Целью работы является эколого-экономическая оценка технологий улавливания и захоронения диоксида углерода при добыче природного газа на примере Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения.

Ил. 2. Табл. 1. Библ. 8

УДК 551.590.2

Исследование влияния космической погоды на бортовые системы космических аппаратов. Шатов П.В. // Труды ИПГ. - 2011, с. 135-144

Для экспериментальной проверки возможной модели воздействия гелиогеофизических факторов на КА была рассмотрена база данных, состоящая из более чем 5000 аномалий и отказов спутников за период с 1967 по 1994 годы. С целью выявления закономерностей был проведён корреляционный анализ среднего числа отказов в день в зависимости от различных индексов геомагнитной активности.

Ил. 1. Табл.1. Библ.12

УДК 556.55

Анализ методов интерполяции для построения цифровых моделей дна водных объектов. Шикунова Е.Ю. // Труды ИПГ. - 2011, с. 331-336

Для построения цифровых моделей рельефа (ЦМР) дна водных объектов на основе данных промерных работ могут быть использованы современные геоинформационные программные продукты, в каждом из которых представлено несколько методов интерполяции. В статье приведены результаты сравнительного анализа ЦМР дна водных объектов, построенных в различных программных продуктах различными методами интерполяции. Были

проанализированы три программных продукта: Golden Surfer v.8.0, ArcView. v. 3.2a, ArcMap v.9.3.1 и семь методов интерполяции. Эксперимент проводился на тестовых участках водохранилищ водораздельного бьефа Канала им. Москвы.
Работа выполнена в Лаборатории автоматизированных систем ФГУ «ГОИН».
Ил. 2. Табл. 2.

УДК 550.388.2
Широтная изменчивость ионосферы и долгосрочный прогноз максимально применимых частот области F2 на прямых и обратных трансполярных трассах. Щелкалин А.В. // Труды ИПГ. - 2011, с. 42-48
Приводятся результаты расчётов максимально применимой частоты (МПЧ) при отражении от ионосферы излучаемой под нулевым углом радиоволны на прямых и обратных трассах в условиях, когда существенную роль играет широтная изменчивость среды. В качестве примера выбрана трасса «Новороссийск – Калифорния». Расчёт производился методом «двух точек» с использованием данных Месячного прогноза МПЧ за май 1980 г. и май 1991 г. Приводится обоснование метода «двух точек» на основе нового способа приближённого представления интеграла Ватсона, являющегося точным решением эталонной задачи о поле точечного источника в сферически слоистой среде. Показано, что МПЧ обратной трассы на несколько мегагерц выше МПЧ прямой трассы во все времена суток.
Ил. 2. Табл. 1. Библ. 11.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА 3

ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ И МОРФОЛОГИИ ИОНОСФЕРЫ 14

Батаков А.М. Развитие метода неголоморфных функций для моделирования распределений относительных вариаций критической частоты области F2 среднеширотной ионосферы и эффективности прогнозов МПЧ…… 15

Васькин А.А. Расслоение области F2 среднеширотной ионосферы при наклонном воздействии мощных радиоволн…… 20

Константинова А.В. Зависимость критической частоты foF2 в различные моменты суток от солнечной активности…… 26

Тетерин К.А. Локальная адаптация модели IRI по данным ВНЗ к реальным ионосферным условиям…… 35

Щелкалин А.В. Широтная изменчивость ионосферы и долгосрочный прогноз максимально применимых частот области F2 на прямых и обратных трансполярных трассах…… 42

ПРОБЛЕМЫ ИОНОСФЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ И НАБЛЮДЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ПРИЕМА СИГНАЛОВ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ 49

Васильев А.Е. Влияние генераторов частоты геодезических GNSS-приёмников на ионосферные измерения…… 50

Лобанов К.А., Подковырин А.Н. Точность моделирования критической частоты слоя F2 с использованием адаптируемой модели полного электронного содержания плазмосферы и СРНС GPS…… 56

Молодцов Д.А. Анализ возможностей использования глобальных навигационных систем для диагностики и исследования процессов в ионосфере…… 62

Полуаршинов М.А. Обоснование возможности использования методов космической оптической томографии для восстановления пространственной структуры эмиссионного слоя в окрестности солнечного терминатора…… 67

ПРОБЛЕМА ИОНОСФЕРНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 73

Давиденко Д.В. Сейсмогенная неоднородность области F2 ионосферы, образовавшаяся незадолго до новозеландского землетрясения 21.04.1999 года и обнаруженная наземными и спутниковой ионосферными станциями.…… 74
Джумагалиев А.В. Обоснование приборного состава для наноспутника, предназначенного для регистрации краткосрочных предвестников землетрясений в ионосфере.…… 80
Поздняков Д.А. Сейсмогенное воздействие на область F2 атмосферы.…… 86

РАЗЛИЧНЫЕ ВОПРОСЫ ГЕЛИО – ГЕОФИЗИКИ 90

Барсуков Ю.С. Модель динамики электронов с энергией более 100 кэВ при развитии циклотронной неустойчивости.…… 91
Барсуков Ю.С. Экспериментальное исследование высыпаний энергичных электронов по данным спутника «Метеор 3М №1» за 2002 год.…… 101
Важенин А.А. Оценка эффективного сечения поглощения молекулярного кислорода в области длин волн вблизи линии Лайман-альфа.…… 105
Воронин А.А. Геомагнитные пульсации в точке стояния метеорологического геостационарного спутника «ЭЛЕКТРО».…… 111
Галкин К.А. Лидарные методы зондирования атмосферного озона.…… 118
Корыстин А.А., Чернышев С.В. Восстановление профилей диэлектрической проницаемости атмосферы по оценкам рефракционной ошибки радиолокационных измерений координат космических объектов**.** …… 125
Скороходов И.А. Выбор подхода для разработки модели комплексного воздействия космической среды на материалы космических аппаратов.…… 130
Шатов П.В. Исследование влияния космической погоды на бортовые системы космических аппаратов..…… 135

МЕТЕОРОЛОГИИЯ И АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ 145

Абшаев А.М., Садыхов Я.А., Малкарова А.М. О трех-стадийном описании процесса турбулентной диффузии кристаллизующего аэрозоля в облачной среде..…… 146
Абшаев М.Т., Малкаров Х.Ж., Созаева Л.Т. Защита от радиационных заморозков слоем искусственного аэрозоля.…… 153

Агуренко А.О. Оценка вклада и экономической полезности спутниковой информации при прогнозе конвективных явлений…….. 158
Аджиева А.А., Машуков И.Х, Шаповалов В.А. Оценка степени градоопасности конвективных облаков радиолокационными методами…… 165
Гяургиева М.М., Кондратьева Н.В., Тлугачев Т.Р. Результаты расчетов коэффициента селеактивности в Карачаево-Черкесской республике…… 169
Кулешов Ю.В., Девяткин А.М., Чернышев С.В., Корыстин А.А. О проблеме определения поля ветра с использованием данных доплеровского метеорологического радиолокатора…… 176
Моисеева Н.О. Метод многомодельного среднесрочного прогнозирования полей метеорологических величин…… 182
Найдина Т.А. Использование спутниковой информации в моделях биопродуктивности зерновых культур для расчета интенсивности фотосинтеза…… 189
Ревокатова А.П. Сравнение методов и оценка стоимости создания стратосферного аэрозольного слоя для целей инженерии климата…… 195
Клещенко А.Д., Савицкая О.В. Комплексное использование наземной агрометеорологической информации и спутниковых данных для оценки урожайности зерновых культур. …… 204
Салугашвили Р.С. Взаимодействие климата Европы и температуры воды в Северной Атлантике…… 212
Хучунаев А.Б. Некоторые результаты лабораторного исследования роста града в начальной стадии его образования…… 219
Хучунаев А.Б. Исследование льдообразующих свойств кристаллогидратов…… 224

ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ 228

Андриянова Н.В., Королева Е.А. Уровни загрязнения почвенного покрова водоохранных зон Чебоксарского водохранилища на территории Нижегородской области…… 229
Андриянова Н.В., Шахова И.М. Экологические последствия лесных и торфяных пожаров в Нижегородской области летом 2010 г…… 235
Бичекуев О.С. Сравнение степени воздействия выбросов основных и специфических загрязняющих веществ на атмосферный воздух в виде экономической деятельности «Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых»…… 242
Говор И.Л. Улавливание и захоронение диоксида углерода в России…… 253

Демешкин А.С. Содержание загрязняющих веществ в донных отложениях залива Гренфьорд арх. Шпицберген…… 260
Козлова М.В. Растительность как индикатор климатических изменений в дельте Терека по ДДЗЗ……. 266
Кузовкин В.В. Расчет эмиссий и захоронения углерода при неэнергетическом использовании топлива в промышленности……. 272
Кунаев И.Н. Экологические последствия аварийных разливов нефти на магистральных нефтепроводах…….. 278
Куртеева Е.И. Особенности формирования загрязнения снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора арктических морей……. 284
Манзон Д.А. Радиационный мониторинг на среднерусской возвышенности через 20 лет после аварии на Чернобыльской АЭС……... 289
Сапожникова А.А. Расчет гидравлических характеристик р. Унжа с использованием программного комплекса HEC-RAS……. 294
Строков А.А. Геоинформационное картирование экологического состояния водных объектов Волжской системы водоснабжения г. Москвы……. 300
Телегин И.В. Определение класса опасности осадка и оценка проекта очистных сооружений очистки шахтных вод ОАО «Гайский ГОК»….. 305
Тихерина Борисенко Х. Мониторинг аварийного загрязнения морской среды нефтью на примере мексиканского нефтяного предприятия РЕМЕХ…….. 310
Фадеев Н.К. Инструментальный контроль потоков парниковых газов в лесных экосистемах……. 315
Шадров К.Н. Эколого-экономическая оценка технологий улавливания и захоронения углекислого газа в газовой отрасли России…… 325
Шикунова Е.Ю. Анализ методов интерполяции для построения цифровых моделей дна водных объектов…….. 331

Аннотации……. 337