14-Геофизика: земная кора, океан, атмосфера

Ахметов Руслан Камилевич, магистрант 1 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, физический
Численная модель формирования температурного поля в пласте при работе скважины с дебитом, изменяющимся во времени
Рамазанов Айрат Шайхуллинович, д.т.н.
e-mail: *ruslan_ufa@inbox.ru* стр. 498

Бебиева Яна Станиславовна, 3 курс
Тезисы автора опубликованы в секции – 19 (Физика и экология)
Долгопрудный, Московский физико-технический институт (ГУ), аэрофизики и космических исследований
Динамика изменений береговой линии Калининградского побережья Балтийского моря
e-mail: *yanabebieva@gmail.com* стр. ___

Билалова Виктория Фанисовна, магистрант 2 года обучения
Ростов-на-Дону, Педагогический институт Южного федерального университета, математики, информатики и физики
Вариации физических параметров приземного слоя атмосферы при его различной термической стратификации
Кудринская Татьяна Владимировна
e-mail: *georgpu@rambler.ru* стр. 499

Борисевич Алексей Николаевич, зам. нач. отд.
Красноярск, Красноярский филиал космического мониторинга ФГБУ Национальный центр управления в кризисных ситуациях МЧС России, физический
О некоторых параметрах `глобального` потепления на территории бывшего Советского Союза
Границкий Лев Васильевич, к.ф.-м.н.
e-mail: *alexey@space.akadem.ru* стр. 501

Будищев Артем Аркадьевич, техник 1-ой категории
Якутск, Институт космофизических исследований и аэрономии СО РАН, отдел аэрономии
Исследование влияния лесных пожаров на аэрозольную компоненту атмосферы в центральной Якутии
Соловьев Владимир Степанович, к.ф.-м.н.
e-mail: *a.budishev@ikfia.ysn.ru* стр. 502

Владыкина Екатерина Александровна, 5 курс
Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет, радиоэлектроники и информационных технологий
Модели уединенных волн в слоистом океане:анализ и сравнение
Куркин Андрей Александрович, д.ф.-м.н.
e-mail: *moonlights87@mail.ru* стр. 504

Гавра Никита Константинович, аспирант 3 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, химико-технологический
Вейвлет-анализ ежедневных данных по температуре воздуха и осадкам на примере Урало-Поволжского региона
Чувыров Александр Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: *GavraNK@yandex.ru* стр. 504

Гафарова Юлия Айратовна, м.н.с.
Уфа, Институт механики УНЦ РАН, лаб. `Механика многофазных систем`
Напряженно деформированное состояние грунта вблизи круглого отверстия
Урманчеев Саид Федорович, д.ф.-м.н.
e-mail: *smailik_2006@mail.ru* стр. 505

Закиров Александр Александрович, аспирант 1 года обучения
Владимир, Владимирский государственный университет, прикладной математики и физики
Спектральный анализ вертикальной составляющей напряженности электрического поля пограничного слоя атмосферы по разнесенным в пространстве станциям
Грунская Любовь Валентиновна, д.ф.-м.н.
e-mail: *grunsk@vpti.vladimir.ru* стр. 506

Кизин Алексей Сергеевич, 5 курс
Волгоград, Волгоградский государственный университет, физики и телекоммуникаций
Разработка информационной системы для отображения данных гидродинамического моделирования
Храпов Сергей Сергеевич, к.ф.-м.н.
e-mail: *kasast@mail.ru* стр. 507

Коваленко Алина Александровна, магистрант 2 года обучения
Ростов-на-Дону, Педагогический институт Южного федерального университета, математики, информатики и физики
Исследования спектра временных вариаций градиента электрического потенциала атмосферы вблизи земли
Петрова Галина Григорьевна, к.ф.-м.н.
e-mail: *georgpu@rambler.ru* стр. 508

Кузнецов Константин Игоревич, 6 курс
Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет, ИРИТ
Гидродинамические условия размывов полотна главной автомобильной магистрали Сахалина
Куркин Андрей Александрович, д.ф.-м.н.
e-mail: *konstantin.kouznetsov@gmail.com* стр. 510

Московченко Лариса Григорьевна, доцент
Владивосток, Дальневосточный государственный университет, Институт физики и информационных технологий
Фрактальный анализ УНЧ геомагнитных данных в период подготовки землетрясения
e-mail: *lgmoskov@ifit.phys.dvgu.ru* стр. 512

Мухаметзянова Алина Флоритовна, аспирант 1 года обучения
Уфа, Уфимский филиал Оренбургского государственного университета, пищевой биотехнологии и управления качеством
Исследование влагонасыщенности кернов горных пород методом высокочастотной кондуктометрии
Ямалетдинова Клара Шаиховна, д.т.н.
e-mail: *mukhaalina@yandex.ru* стр. 513

Саклакова Виктория Вячеславовна, 3 курс
Владивосток, Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, физико-технический
Исследование состояния фитопланктонных сообществ на основе спутниковых данных солнечно-индуцированной флуоресценции хлорофилла
Салюк Павел Анатольевич, к.ф.-м.н.
e-mail: *lapusenok_17@mail.ru* стр. 515

Стёпочкин Игорь Евгеньевич, 4 курс
Владивосток, Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, физико-технический
Восстановление биооптических характеристик залива Петра Великого из данных пассивного дистанционного зондирования восходящего излучения моря и сравнительный анализ с альтернативными методами измерений
Салюк Павел Анатольевич, к.ф.-м.н.
e-mail: *st.igor@hotmail.com* стр. 519

Старостин Сергей Юрьевич, 5 курс
Ростов-на-Дону, Педагогический институт Южного федерального университета, математики, информатики и физики
Результаты измерений концентрации радона-222 в почвенном газе и в приземном слое атмосферы
Панчишкина Ирина Николаевна, к.ф.-м.н.
e-mail: *georgpu@rambler.ru* стр. 516

Старостина Ольга Павловна, 4 курс
Ростов-на-Дону, Педагогический институт Южного федерального университета, математики, информатики и физики
Роль радона-222 в формировании пространственно-временных вариаций градиента потенциала электрического поля в приземном слое атмосферы
Петров Анатолий Иванович
e-mail: *georgpu@rambler.ru* стр. 517

Тарабукина Лена Дмитриевна, 4 курс
Якутск, Якутский государственный университет, физико-технический
Статистический анализ радиоимпульсов грозовых разрядов
Козлов Владимир Ильич, к.ф.-м.н.
e-mail: *taddy-9@mail.ru* стр. 521

Тарантин Михаил Викторович, н.с
Пермь, Горный институт УрО РАН
О точности определения скорости акустических волн при использовании различных каротажных приборов
e-mail: *gptmv@mi-perm.ru* стр. 522

Фуфурин Игорь Леонидович, аспирант 3 года обучения
Москва, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, фундаментальных наук
Методика идентификации и восстановления концентраций веществ в газовой фазе путем численного анализа единичного спектра собственного теплового излучения
Морозов Андрей Николаевич, д.ф.-м.н.
e-mail: *igfil@mail.ru* стр. 524

Хабиров Тимур Раильевич, 5 курс.
Тезисы автора опубликованы в секции – 16 (Акустика, гидродинамика)
Уфа, Башкирский государственный университет, физический
Математическая модель двухфазного неизотермического течения в вертикальном канале
Шарафутдинов Рамиль Файзырович, д.ф.-м.н.
e-mail: *khabirovtr@mail.ru* стр. 630

Яковлев Ярослав Александрович, магистрант 1 года обучения
Уфа, Башкирский государственный университет, физический
Численное моделирование процесса изменения давления в скважине на неустановившихся режимах фильтрации
Рамазанов Айрат Шайхуллинович, д.т.н.
e-mail: *yayakovlev@mail.ru* стр. 525

Температурное поле в пласте при работе скважины с переменным дебитом

Ахметов Руслан Камилевич
Башкирский государственный университет
Рамазанов Айрат Шайхуллинович
ruslan_ufa@inbox.ru

В данной работе рассматривается однофазная неизотермическая однофазная фильтрация жидкости в горизонтальном пористом пласте к скважине. При описании температурной задачи приняты следующее допущения: однотемпературная модель температура жидкости и скелета пористой среды в каждой точке совпадают в результате мгновенного теплообмена, процессом теплопроводности пренебрегаем по сравнению с конвективным переносом тепла. Таким образом в суммарное изменение температуры флюида вносят вклад: начальное температурное поле пласта, эффект дросселирования и эффект адиабатического расширения – сжатия. Для отдельного учета части температурного эффекта, обусловленной только изменением давления, будем говорить о баротермическом эффекте. Этот эффект определяется как изменение температуры в насыщенной пористой среде, обусловленное изменением давления.

Математическая постановка задачи для расчета температурного поля, обусловленного баротермическим эффектом т.о., имеет вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t}+u(r,t)\frac{\partial T}{\partial r}=-\varepsilon u(r,t)\frac{\partial p(r,t)}{\partial r}+\eta\Pi\frac{\partial p(r,t)}{\partial t} \tag{1}$$

$$T(r,0)=f(r) \tag{2}$$

Здесь *u(r,t)* - скорость конвективного переноса тепла:

$$u(r,t)=c\upsilon(r,t)=-c\frac{k}{\mu}\frac{\partial p}{\partial r} \tag{3}$$

c-отношение объемных теплоемкостей флюида и насыщенной этим флюидом пористой среды $c=\frac{c_f\rho_f}{C_t}$; ε -коэффициент Джоуля-Томсона флюида; η- коэффициент адиабатического расширения; μ - вязкость насыщающего пласт флюида; k- проницаемость пласта; $\Pi=mc$ - параметр, учитывающий мгновенный теплообмен между жидкостью и скелетом пористой среды; *m* – пористость.

В общем случае, решение задачи (1) - (2) для произвольного нестационарного поля давления $p(r,t)$ вдоль характеристик $r_t=r(t,r_1)$, определяемых из задачи:

$$\begin{cases}\dfrac{dr}{dt}=u(r,t)\\ r(0)=r_1\end{cases} \tag{4}$$

записывается в виде:

$$T(r_t,t)=f(r_1)+\varepsilon(p(r_1,0)-p(r_t,t))+(\varepsilon+\eta\Pi)\int_0^t\frac{\partial_2 p(r_\tau,\tau)}{\partial t}d\tau \tag{5}$$

В (5) первое слагаемое представляет конвективный вынос из пласта начального профиля температуры *f(r).* Второе и третье слагаемые (5) представляют изменение температуры, обусловленное баротермическим эффектом.

Используя (5), рассчитывается температурное поле пласта для конкретного распределения поля давления $p(r,t)$. В нашей модели для скважины, работающей с переменным дебитом Q(t), используется известное распределение давления, полученное методом линейной суперпозиции:

$$p(r,t)=P_{пл}+\frac{q_1\mu}{4\pi kh}\left[E_i\left(-\frac{\phi\mu cr^2}{4kt}\right)+\sum_{i=2}^{N}\frac{q_i-q_{i-1}}{q_1}E_i\left(-\frac{\phi\mu cr^2}{4k(t-t_{i-1})}\right)\right],\ E_i(-x)=-\int_x^\infty\frac{e^{-u}}{u}du \tag{6}$$

Разработан алгоритм расчета изменения температуры и давления скважине по формулам (5) и (6). Составлена диалоговая программа для ЭВМ. В докладе обсуждаются результаты расчетов и их зависимость от параметров пористой среды, пути практического использования разработанной модели при интерпретации скважинных термограмм и при решении обратных задач подземной термогидродинамики.

Вариации физических параметров приземного слоя атмосферы при его различной термической стратификации

Билалова Виктория Фанисовна

Педагогический институт Южного федерального университета

Кудринская Татьяна Владимировна

georgpu@rambler.ru

Электрическое состояние приземного слоя, как показывают исследования, в значительной степени зависит от его температурной стратификации - распределения температуры по высоте.

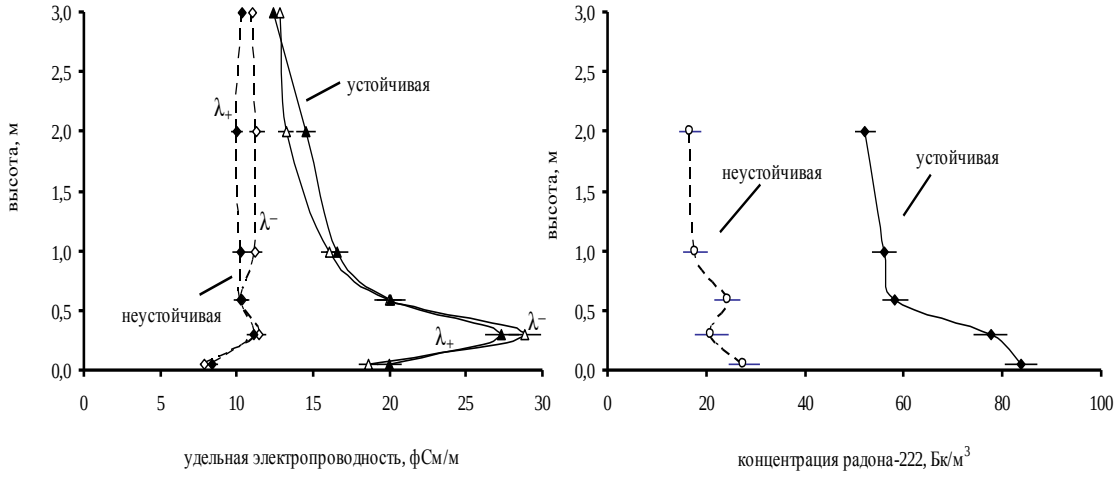
Принято различать неустойчивую $\left(\frac{dT}{dh} < \gamma_a\right)$, устойчивую $\left(\frac{dT}{dh} > \gamma_a\right)$ и безразличную $\left(\frac{dT}{dh} = \gamma_a\right)$ стратификацию атмосферы. Здесь γ_a=1°/100 м - адиабатический градиент - изменение температуры поднимающейся воздушной частицы с высотой, $\frac{dT}{dh}$ - градиент температуры окружающего частицу воздуха. При неустойчивой стратификации в атмосфере развиваются конвективные движения, что способствует ее вертикальному перемешиванию. В итоге стираются вертикальные градиенты физических величин и концентраций примесей, и выравниваются значения параметров атмосферы на разных уровнях. Устойчивая стратификация не способствует вертикальному перемешиванию слоев, так как конвекция не возникает. Безразличная стратификация соответствует промежуточному состоянию приземного слоя в этом отношении. Устойчивость приземной атмосферы наряду со скоростью ветра влияет, в частности, на турбулентное перемешивание, от которого зависит распределение атмосферных примесей. В качестве параметра стратификации приземного слоя в работе использовался параметр $m = \frac{1}{\varphi_u^{\,2}}$, где φ_u - универсальная функция теории подобия. Функция φ_u вычислялась через число Ричардсона $Ri = 0.0472\frac{\Delta T}{\Delta U^2}$. Как видно, число Ричардсона определяется разностью температур ΔT и разностью значений скорости ветра ΔU, измеренных на двух высотах. В используемом нами методе Орленко эти высоты равны 2 м и 0,5 м. Таким образом, $\Delta T = T_2 - T_{0.5}$, $\Delta U = U_2 - U_{0.5}$. В зависимости от Ri универсальная функция φ_u определялась по различным формулам:

при $Ri = 0$ (безразличная стратификация, m=1) $\varphi_u = 1$,

при $Ri < 0$ (неустойчивая стратификация, m>1) $\varphi_u = (1 - 16Ri)^{-\frac{1}{4}}$,

при $Ri > 0$ (устойчивая стратификация, m<1) $\varphi_u = -\frac{1 - 7Ri - \sqrt{(1-7Ri)^2 + 16Ri^2}}{8Ri^2}$.

Для анализа привлекались результаты измерений в геофизических экспедициях ПИ ЮФУ 2008 и 2009 г.г.. Экспедиции проводятся ежегодно в летний период, с 2006 г. - в х.Талловеров Кашарского района на севере Ростовской области. Район сельский, степной, удален от возможных источников антропогенного загрязнения. Массив данных был разбит на подсовокупности: для устойчивой (m<0,5), неустойчивой (m>1,2) и безразличной (0,9<m<1,1) стратификации.В работе представлены результаты осреднения характеристик приземной атмосферы для различной ее стратификации, их вертикальные профили и ряды динамики. В результате отбора по параметру стратификации в группе замеров с устойчивой стратификацией оказались, главным образом, ночные замеры с низкой скоростью ветра. Температура воздуха в эти периоды сравнительно невелика, а относительная влажность значительна. Изменения этих величин во времени плавные, что обусловлено слабой турбулентностью. Анализ показал, что при устойчивой стратификации наблюдаются заметные вертикальные градиенты электрических характеристик атмосферы. В частности, эти условия



способствуют накоплению вблизи земной поверхности радона, что обусловливает повышение значений полярных электропроводностей у земли в такие периоды. Неустойчивая стратификация наблюдалась, как правило, в дневные часы с ветром, высокой температурой воздуха и низкой относительной влажностью. Заметно возрастали турбулентные пульсации величин. При неустойчивой стратификации развитие конвективных движений способствует вертикальному переносу примесей, что приводит к уменьшению вертикальных градиентов электрических параметров приземного слоя. Концентрация радона вблизи земли понижается, и наблюдаются малые значения полярных электропроводностей.

рис.1 Вертикальные профили полярных электропроводностей λ_+ и λ_- атмосферы и концентрации радона-222, осредненные для устойчивой (100 часов измерений) и неустойчивой (50 часов измерений) стратификации приземного слоя. Планками показана стандартная погрешность (х.Талловеров, август 2008 г.)

Что касается безразличной стратификации, то она, как промежуточное состояние, наблюдалась обычно в утренние или вечерние часы, переходные от устойчивой стратификации к неустойчивой и наоборот. Ряды динамики метеоэлементов при безразличной стратификации от утренних к дневным часам и от вечерних к ночным обнаруживают соответствующие тренды, хорошо видны турбулентные пульсации. Профили электрических характеристик выглядят переходными от устойчивой стратификации к неустойчивой.

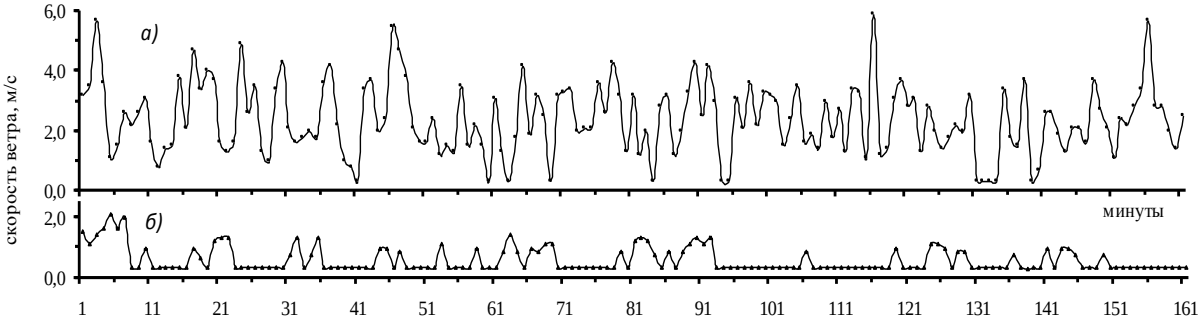


рис.2 Пример записи вариаций скорости ветра, характерных для неустойчивой (а) и устойчивой (б) стратификации приземного слоя (метеостанция М-49, высота 5 м, август 2008 г.,х.Талловеров)

Опыт проведенных исследований убеждает в том, что учет устойчивости приземного слоя позволяет рассчитывать на получение корректных результатов физико-статистических исследований его электрического состояния. Важно обеспечить однородность массивов, полученных при группировке, с точки зрения физических условий, поскольку успех анализа атмосферно-электрических данных определяется в значительной степени тем, как результаты эксперимента сгруппированы.

О некоторых параметрах «глобального» потепления на территории бывшего Советского Союза

Борисевич Алексей Николаевич

Лесняк Татьяна Александровна

Красноярский филиал космического мониторинга ФГБУ Национальный центр управления в кризисных ситуациях МЧС России,

Сибирский федеральный университет

Границкий Лев Васильевич, Иванов Виктор Владимирович

alexey@space.akadem.ru

Климат [греч. klimatos - наклон (земной поверхности к солнечным лучам)], статистический многолетний режим погоды, одна из основных географических характеристик той или иной местности. Основные особенности климата определяются поступлением солнечной радиации, процессами циркуляции воздушных масс, характером подстилающей поверхности. Из географических факторов, влияющих на климат отдельного региона, наиболее существенны широта и высота местности, близость его к морскому побережью, особенности орографии и растительного покрова, снеговой и ледовый режимы, степень загрязненности атмосферы. Описание климата определенного региона должно включать в себя анализ средних условий, сезонного цикла, и вероятности экстремальных событий, таких как суровые заморозки, ураганы и т.д.. Согласно определению Международной Метеорологической Организации, 30 лет - это классический период, статистика за который используется для определения климата.

Научное мнение, поддержанное национальными академиями наук стран «Большой восьмёрки», заключается в том, что средняя температура по Земле поднялась на 0,7 °С по отношению времени начала промышленной революции (вторая половина XVIII века). Полагается, что большая доля ускорения потепления в последние 50 лет, вызвана деятельностью человека, в первую очередь выбросом парниковых газов.

Целью настоящего исследования было изучить поведение климатических «норм» среднегодовой температуры за инструментальный период наблюдений на территории России и ближнего зарубежья. Рассматривались данные 223 метеостанций бывшего СССР, входящие в систему международного климатического обмена. Использовались ряды среднесуточных приземных температур воздуха с 1880 по 2006 гг. Обработка производилась в электронной таблице Microsoft Excel, с помощью заложенных в ней алгоритмов оптимизации и написанных авторами макросов для автоматизации обработки.

В большинстве проводимых исследованиях климата рассматриваются линейные тренды временных рядов. Такой подход не дает полноценной информации о сроках начала проявления глобального потепления в каждой отдельной местности, а также сравнительной динамики изменения температур до и после начала климатических изменений. В результате проведен анализ различных аппроксимационных моделей для описания поведения климатических норм. Предложен способ аппроксимации (1), позволяющий преодолеть недостатки линейных трендов *(рис.1)*.

$$F(x) = a_1 x + \varphi(x) a_2 (x - x_p) + b\,,\ \varphi(x) = \begin{cases} 0; & x < x_p \\ 1; & x \geq x_p \end{cases}$$; таким образом: $tg\alpha_1 = a_1$, $tg\alpha_2 = a_1 + a_2$ (1)

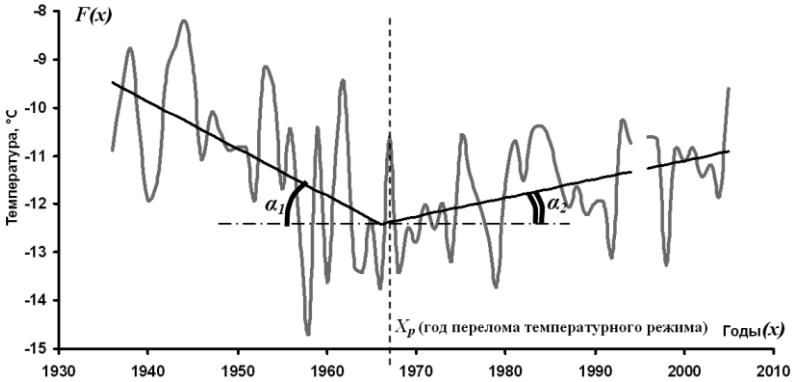


рис.1 Используемая функция аппроксимации на примере ряда среднегодовых температур н.п. Диксон

Таким образом, для всех метеостанций были вычислены параметры a_1, a_2 и x_p. На основании анализа временных рядов среднегодовых температур показано, что в 29% случаев темпы наблюдаемого современного потепления сравнимы или меньше величины предшествовавшего похолодания в 1-й половине XX века *(рис.2)*.

Проведено районирование изучаемой территории по темпам современного потепления и предшествовавшего ему периода. Вычисленные значения переломных годов температурных режимов также картированы.

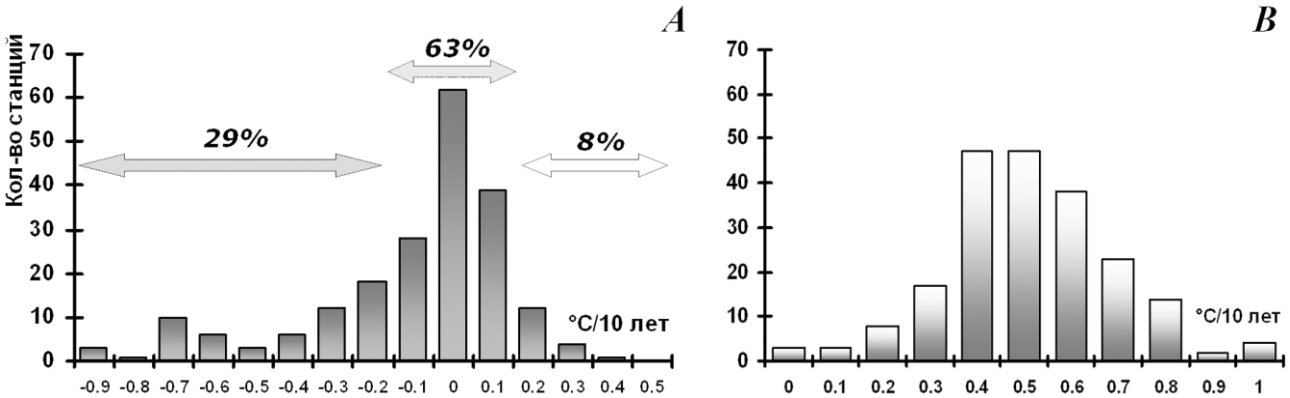


рис.2 Гистограммы распределений линейных темпов изменения температур А - «до», и В - «после» начала современных климатических изменений

Исследование влияния лесных пожаров на аэрозольную компоненту атмосферы в центральной Якутии

Будищев Артем Аркадьевич

Соловьев Владимир Степанович

Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН

Соловьев Владимир Степанович, к.ф.-м.н.

a.budishev@ikfia.ysn.ru

Лесные пожары (ЛП) оказывают огромное влияние на окружающую среду, на биоразнообразие природных экосистем, породную и возрастную структуру лесов, их ресурсный и экологический потенциал. Ежегодно на территории России возникает от 10 до 30 тыс. лесных пожаров общей площадью от 0,5 до 2 млн. га, из них 95% приходится на малонаселенные обширные районы Сибири и Дальнего Востока [1].

В результате ЛП выбрасывается огромная масса продуктов горения – смесь различных газов, соединений углерода, аэрозольных частиц, оказывающих существенное влияние на физические и химические процессы в атмосфере.

Для исследований был выбран участок Приленского плато (центральная Якутия), находящийся в секторе 60^0–64^0 с.ш. и 120^0–132^0 в.д. *(рис. 1).* С севера (частично), востока и юга исследуемый участок окружен горными массивами Верхоянского и Станового хребтов, затрудняющих горизонтальный вынос инжектированных дымовых частиц за границы рассматриваемого участка.

Мониторинг пирогенной обстановки осуществлялся по данным радиометра AVHRR (ИСЗ NOAA) [2-4], при этом уровень лесопожарной активности оценивался количеством «пожарных» пикселей ($N_{пож}$), обнаруженных с помощью порогового алгоритма детектирования ЛП [5]. Для оценки вариаций атмосферного аэрозоля были использованы данные радиометра MODIS (ИСЗ Terra, Aqua) – продукт MOD08_D3 третьего уровня [6], находящиеся в свободном доступе в архиве NASA (http://ladsweb.nascom.nasa.gov/).

Согласно спутниковым и наземным (данные ФГУ «Авиалесоохрана») наблюдениям в течение 2001-2003 гг. наблюдался чрезвычайно высокий уровень пирогенной активности, с максимумом в 2002 г. за последние 13 лет. Крайне низкий уровень пирогенной активности отмечен в 2000 г. и 2004-2009 гг. Для указанных периодов, были построены соответствующие графики вариаций среднемесячных значений количества обнаруженных на космоснимках «пожарных» пикселей и АОТ.

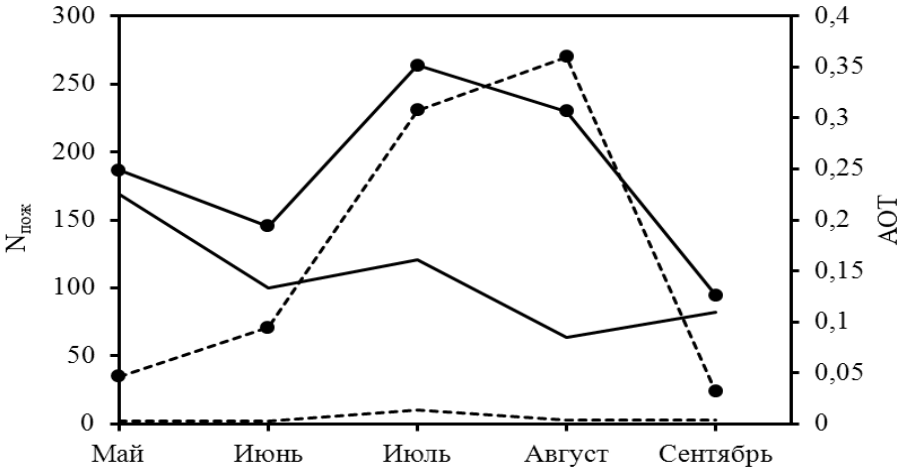


рис. 1 Вариации среднемесячных значений $N_{пож}$ и АОТ, рассчитанные для периодов май-сентябрь с высоким (2001-2003 гг.) и низким уровнем пирогенной активности (2000 г., 2004-2009 гг.). Сплошными линиями показаны вариации АОТ, прерывистыми – $N_{пож}$; круглыми маркерами помечены вариации, относящиеся к 2001-2003 гг.

Как следует из *рис.1,* сезонный ход АОТ в годы с низким уровнем пирогенной активности сильно отличается от вариаций АОТ в пожароопасные годы. Значения АОТ(2000, 2004-2009) с мая по сентябрь плавно снижаются ~ в 2 раза, за исключением небольшого локального максимума в июле.

Кривая АОТ(2001-2003) в отличие от АОТ(2000, 2004-2009) ведет себя иначе: общее плавное снижение (май-июнь) сменяется ростом во второй половине лета. Максимум АОТ (~ 0,35) наступает в июле, затем в августе отмечается небольшой спад, который переходит в резкое снижение АОТ до фоновых (невозмущенных) значений в сентябре. Аналогичное поведение наблюдается в изменениях пирогенной активности: в мае-июне уровень лесопожарной активности невысок, затем во второй половине лета наступает фаза активности пирогенной обстановки, в сентябре лесные пожары затухают.

В целом, предварительный анализ спутниковых данных за период май-сентябрь 2000-2009 гг. показывает, что среднее летнее (июнь-август) значение АОТ в пожароопасные годы (2001-2003) более чем в 2 раза выше, чем в годы с низкой пирогенной активностью (2000, 2004-2009). В отдельные дни (2002 г.) с наиболее высоким уровнем пирогенной активности среднесуточная АОТ по исследуемому участку значительно превышала невозмущенные значения, достигая значений 1,5-1,6. При этом значения АОТ в отдельных ячейках (1x1 град.) достигали 4,9. Среднее значение коэффициента Ангстрема, характеризующего размеры аэрозольных частиц за период июнь-август в 2002 г. превышало 1,6, что косвенно подтверждает, что их источниками являются лесные пожары.

Список публикаций:

[1] Коровин Г.Н., Исаев А.С. Охрана лесов от пожаров как важнейший элемент национальной безопасности России // Лесной бюллетень. 1998. № 8-9.

[2] Соловьев В.С., Васильев Е.К. Спутниковый мониторинг лесных пожаров и оценка их последствий // Наука и образование, изд-во АН РС (Я), 2000. №4(20). С. 24-27.

[3] Соловьев В.С. Спутниковый мониторинг в Якутии / Сб. статей. Космофизические исследования в Якутии. – Якутск: ЯФ Изд-во СО РАН, 2001, С. 302-308.

[4] Соловьев В.С., Козлов В.И. Исследование пространственно-временной динамики лесных пожаров и облачности в Северо-Азиатском регионе по данным спутников NOAA // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18. № 01-02. С. 146-149.

[5] Абушенко Н.А., Алтынцев Д.А., Минько Н.П., Семенов С.М., Тащилин С.А., Татарников А.В. Алгоритм обнаружения пожаров по многоспектральным данным прибора AVHRR // Тезисы докладов VI Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана», Томск. 1999. С.69.

[6] Remer L.A., Kaufman Y.J., Tanre D., Mattoo S., Chu D.A., Martins J.V., Li R.R., Ichoku C., Levy R.C., Kleidman R.G., Eck T.F., Vermote E., Holben B.N. The MODIS aerosol algorithm, products, and validation // J. Atmos. Sci. 2005. Vol.62, P.947-972.

Модели трансформации уединенных внутренних волн в неоднородном океане: анализ и сравнение

Владыкина Екатерина Александровна
Куркина Оксана Евгеньевна, к.ф.-м.н.
Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева
Куркин Андрей Александрович, д.ф.-м.н.
evladykina@gmail.com

Обеспечение благоприятных условий для хозяйственной деятельности человека и снижение рисков неблагоприятного воздействия на морскую среду в шельфовой зоне океана приводит к необходимости изучения динамики внутренних гравитационных волн над неровным дном. В общем случае такая задача может быть решена лишь приближенно. Однако, имеются частные случаи, когда можно найти и аналитическое решение, например, – распространение плоских внутренних волн над плоским наклонным дном.

С точки зрения физико-математических моделей введение наклонного дна не является принципиальным и ведет только к изменению граничного условия. Так, для решения поставленной задачи в рамках численных методов (имеющих наиболее широкую область применимости и являющихся универсальным инструментом для решения такого рода задач) отличие от классической ситуации, где моделируется распространение волн над ровным дном, заключается только в модификации условия непротекания.

Однако, порой, для более узкого класса волновых движений (ограничения на амплитуды волн и соотношения параметров среды), удобнее прибегнуть к прогнозам слабонелинейной теории, которая дает довольно хорошие оценки и, в то же время, не требует столь объемных вычислений. Основное преимущество этого метода – возможность получить аналитическое решение. Внесение же в модель дна переменной глубины почти не усложняет решение, но приводит к рассмотрению слабонелинейных эволюционных уравнений с переменными коэффициентами, зависящими от меняющихся параметров среды.

Между тем, неоднородность глубины в природных водоемах часто является достаточно плавной, то есть процессами отражения волны можно пренебречь и рассматривать волну, движущуюся только в одном направлении. Кроме того, в плавно неоднородной неподвижной среде, как известно, сохраняется поток энергии, что дает возможность исследовать процесс трансформации уединенных внутренних волн в рамках адиабатической теории. Польза этого метода, основанного на уравнениях энергетического баланса, заключается в том, что по существу нет необходимости моделировать весь процесс перестройки, чтобы узнать нужные характеристики волны в интересующей нас точке. Но кроме плавности изменения дна здесь нужно также учитывать невозможность обращения в нуль таких параметров, как скорость волны и, в рассматриваемом случае, коэффициент нелинейности (вблизи этой точки волна должна разрушаться). Этот метод применим для еще более узкого класса задач, чем слабонелинейная теория.

Таким образом, в настоящей работе рассмотрены три основных подхода к решению задачи о трансформации внутренних уединенных волн над наклонным дном на примере двухслойного океана: численное моделирование в рамках полнонелинейной системы уравнений гидродинамики невязкой несжимаемой стратифицированной жидкости в приближении Буссинеска, моделирование с помощью слабонелинейной теории и анализ посредством адиабатической теории. Проведено сравнение в рамках трех перечисленных подходов основных качественных этапов трансформации уединенных волн различных амплитуд и изменения вдоль трассы распространения таких показателей, как массы образующихся при перестройке уединенной волны «хвостов», амплитуды и формы самих перестраивающихся солитонов. Даны оценки применимости приближенных моделей относительно величины уклонов дна и расстояний до критических точек.

Вейвлет-анализ ежедневных данных по температуре воздуха и осадкам на примере Урало-Поволжского региона

Гавра Никита Константинович
Башкирский государственный университет
Чувыров А.Н., д.ф.-м.н.
GavraNK@yandex,ru

Анализ рядов гидрометеорологических данных на цикличность имеет большое научное и практическое значение. Он позволяет повышать точность прогнозов погоды различной заблаговременности, что имеет большое значение для различных отраслей народного хозяйства. При анализе метеорологических величин обычно используют методы разностных интегральных кривых, Фурье-анализа, скользящих средних. Ниже

показана эффективность применения для этих целей вейвлет-анализа на основе вейвлета Добеши, поскольку именно он оказался наиболее приемлемым для решения поставленной задачи. Главным преимуществом данного метода является его способность выявлять скрытые циклы, которые не прослеживаются при использовании традиционных методов анализа метеорологической информации. Впервые теория вейвлетов была предложена Гроссманом и Морле в середине 80-х годов для анализа акустических и сейсмических сигналов. Основу вейвлет-анализа представляет разложение по базису, сконструированному из солитонообразной функции (вейвлет) посредством масштабных изменений и переносов. Базой для изучения циклов послужили ежедневные данные средних суточных температур и ежедневные суммы осадков за 2005-2009 годы по метеостанциям Урала и Поволжья. Поволжье было представлено метеостанциями Астрахань, Волгоград, Саратов, Самара, Александров Гай, Ульяновск, Пенза, Казань. Уральский регион был представлен следующими пунктами: Уфа, Магнитогорск, Оренбург, Курган, Екатеринбург, Пермь, Ижевск. Компьютерный анализ данных изменений температуры воздуха и осадков с помощью вейвлет-анализа по методике обратного преобразования скорректированных образов и их Фурье фильтрации с целью выявления периодов дал следующие результаты. При анализе данных по осадкам повсеместно выявлены периоды продолжительностью 5, 7, 10, 14 дней, 1, 3, 4 месяца и 1 год. На Урале отмечены циклы длиной 2 и 5 месяцев, в Поволжье – продолжительностью 6 и 7 месяцев. Анализ температуры воздуха выявил наличие идентичных циклов в исследуемых регионах. Это пентадные, декадные, недельные, двухнедельные, 40-дневные, полуторамесячные и годовые колебания. Как видно из анализа, во многих случаях отмечается явление удвоения периодов, а региональные различия более заметны при анализе режима осадков, что объясняется большей изменчивостью этой характеристики по сравнению с температурой воздуха. Годовые колебания вызваны вращением Земли вокруг Солнца, при этом они являются наиболее выраженными для температуры воздуха. Все более дробные колебания вызваны цикличностью атмосферной циркуляции, чередованием образования и прохождения циклонов и антициклонов, гребней и ложбин. Различные сочетания выявленных циклов создают конкретные погодные условия и климат, изменения которых возможно предсказать.

Численное исследование напряженно деформированного состояния грунта вблизи круглого отверстия

Гафарова Юлия Айратовна

Институт механики Уфимского научного центра РАН

Урманчеев Саид Федорович, д.ф.-м.н.

Smailik_2006@mail.ru

На пути прокладки трубопроводов неизбежно встречаются водные преграды. Технология и методы строительства подводных переходов по сравнению со строительством линейной сухопутной части резко отличаются. Подводный переход – особый конструктивный элемент линейной части магистрального трубопровода, который представляет потенциальную опасность для окружающей среды. Поэтому во избежание аварийных разливов нефти или выхода газа получило развитие строительство трубопровода методом наклонного бурения. Одна из проблем этого метода – напряженно-деформированное состояние грунта вокруг отверстия в процессе бурения.

При расчете напряжения необходимо учесть глубину пролегания, размер отверстия, характер грунта и другие параметры. Получено аналитическое решение двух задач: отверстие расположено глубоко и на незначительном расстоянии от уровня размыва.

В первом случае напряжения получены в полярной системе координат *(φ, r)* для неограниченной области с круговым отверстием радиуса *R* при однородном нормальном давлении *p* [1]. Расчеты по функции Эри показали, что радиальное напряжение всегда сжимающее, а окружное напряжение – растягивающее. На бесконечности напряжения исчезают.

Вторая задача решена введением биполярной системы координат *(α, β)*, предложенной Jeffery G. B. [2]. Формулы выведены для полу-бесконечной пластины, содержащей круглое отверстие, на которое действует однородное нормальное давление *p*, и ограниченной прямолинейной границей, которая свободна от напряжений.

$$\sigma_{\beta\beta} = -p + 2p\,\mathrm{cosech}^2\alpha(\cosh^2\alpha - \cos^2\beta)$$

Напряжение рассчитано на прямолинейной границе и вокруг кругового отверстия. Зависимости напряжения $\sigma_{\beta\beta}$ от биполярной координаты β представлены на рисунках 1-2.

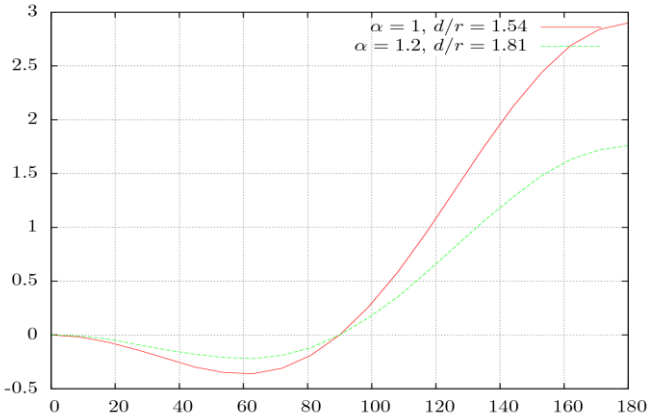


рис.1 Напряжение на прямолинейной границе

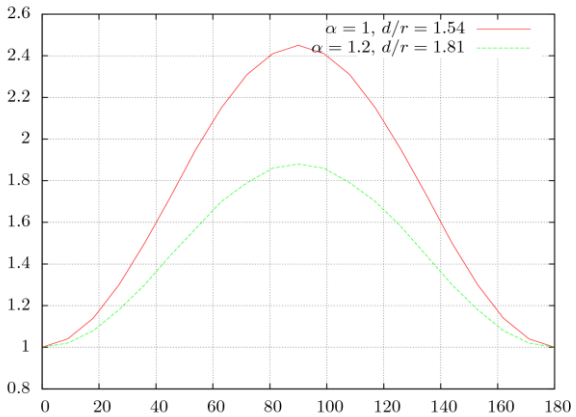


рис. 2 Напряжение на круглой границе

Для сыпучих пород разрушение начнется, где напряжение достигает максимума. Напряжение зависит от отношения расстояния от прямолинейной границы до центра отверстия *d* к её радиусу *r*. Расчеты показали, что трещина появится на прямолинейной границе при $d \le \sqrt{3}r$, а на круглом отверстии – при $d \ge \sqrt{3}r$. Когда $d >> r$ вторая задача сводится к первой.

Первая задача так же решена численно методом контрольного объема. Программа написана на языке Fortran77. Распределение нормального и касательного напряжений в пласте показано на рисунках 3-4.

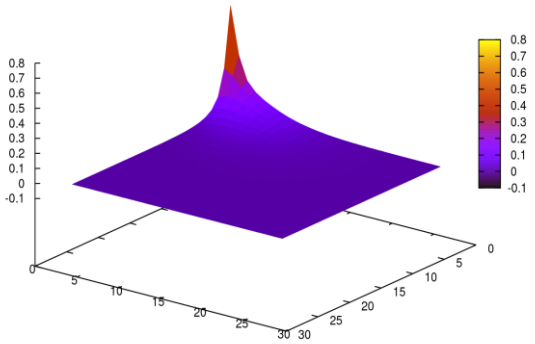


рис.3 Нормальное напряжение в грунте

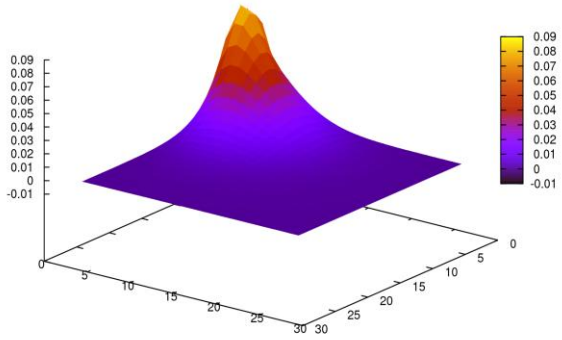


рис.4 Касательное напряжение в грунте

Таким образом, при прокладке подводных трубопроводов вблизи линии размыва важным критерием является значение d/r.

Список публикаций:

[1] Хан Х. Теория упругости: Основы линейной теории и её применения: Пер. с нем. – М.: Мир, 1988.-344с.

[2] Jeffery G. B. Plane stress and plane strain in bipolar co-ordinates // Phil. Trans. Roy. Soc. 1921. A221, 265

Спектральный анализ вертикальной составляющей напряженности электрического поля пограничного слоя атмосферы по разнесенным в пространстве станциям

Закиров Александр Александрович

Золотов Артем Николаевич

Владимирский государственный университет

Грунская Любовь Валентиновна, д.т.н.

grunsk@vpti.vladimir.ru

Атмосферные приливы возникают вследствие изменения атмосферного давления. Исследовалось два типа приливов: солнечные приливы, обусловленные как неоднородным нагревом солнечным излучением, так и гравитационным взаимодействием с Землей; лунные приливы, обусловленные гравитационным

взаимодействием Луны с земной атмосферой. По результатам мониторинга электрического поля приземного слоя атмосферы по разнесенным в пространстве станциям созданы каталоги спектров электрического поля вблизи частот (периодов) солнечных и лунных приливов. По результатам спектрального анализа, осуществленного с помощью корреляционного квадратурного приемника, наблюдается хорошее совпадение модельных оценок амплитуд электрического поля на частотах солнечных приливов по разнесенным в пространстве станциям (S1,S2,S3,S4,K1,P1) с экспериментальными: теоретическая оценка по разработанной модели составляет $E_z \cong (10 - 15)$ В/м, экспериментальная оценка в пределах $E_z \cong (5 - 20)$ В/м , отношение сигнал/шум составило (2-5), что является подтверждением адекватности разработанной модели экспериментальным данным. Высокая разрешающая способность по частоте ($f=3{,}17*10^{-9}$ Гц), достигнутая благодаря размерам временных рядов экспериментальных данных, позволила осуществить оценку амплитуды и отношения сигнал/шум на частотах лунных приливов. Спектральный анализ вертикальной составляющей напряженности электрического поля приземного слоя атмосферы на частотах лунных приливов (2N2, M2,M1,O1,L2) по разнесенным в пространстве станциям дал оценку амплитуды на частотах приливов в пределах $E_z \cong (0{,}5 - 6)$ В/м, отношение сигнал/шум составило (0,4 - 2,7). Из результатов спектральной оценки амплитуды электрического поля на частотах лунных приливов можно также сделать вывод о необходимости длительных непрерывных наблюдений электрического поля приземного слоя атмосферы для получения более достоверной оценки степени воздействия лунных приливов. На *рис.1,2* приведены примеры результатов спектральной обработки данных электрического поля по ряду станций, вблизи частот ряда солнечных и лунных приливов.

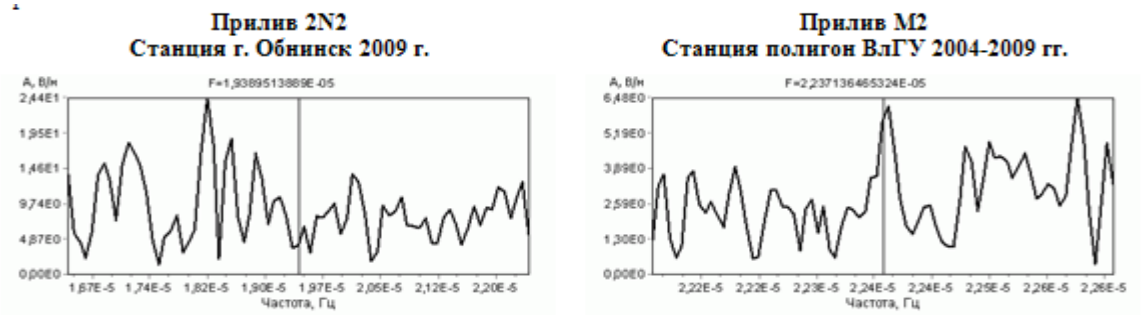


рис.1

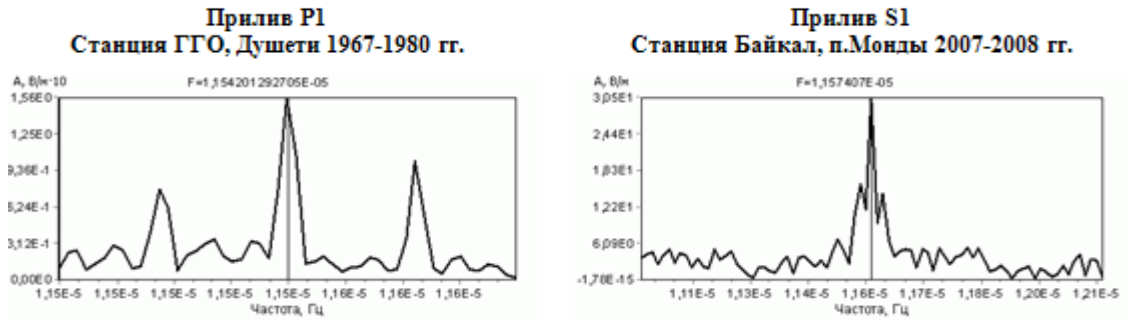


рис.2

Работы проводятся при поддержке гранта РФФИ 09-05-99015 и программы Минобразования №2.1.1/5660.

Разработка информационной системы для отображения данных гидродинамического моделирования

Кизин Алексей Сергеевич
Волгоградский государственный университет
Храпов Сергей Сергеевич, к.ф.-м.н.
kasast@mail.ru

Исследования последних лет отмечают нарастание признаков деградации экосистемы Волго-Ахтубинской поймы, связывая этот факт полностью или частично с изменениями водного режима, созданием гидроузла Волжской ГЭС у Волгограда и каскада ГЭС и искусственных водохранилищ на Волге и Каме. Между тем, возможность искусственного регулирования стока в створах гидроэлектростанций может минимизировать

или даже устранить полностью негативные эффекты реконструкции Большой Волги. Необходимо лишь признать приоритетность экологической проблематики в процессе выработки оптимальных режимов эксплуатации гидроузлов. В этом случае проблема сводится к определению режимов пропуска вод Волги через створы гидросооружений ГЭС, при которых условия волжской долины позволят сохранить и обогатить существующие ландшафты.

Для более точного моделирования динамики поверхностных вод необходимо иметь достаточно точную модель местности. Для создания такой модели использовался метод считывания данных srtm-3 рельефа. На основе считанных данных была создана 3D-модель поверхности Волго-Ахтубинской поймы. Так же, при помощи программного продукта “Гис ВАП”, было проведено гидродинамическое моделирование по затоплению поверхности Волго-Ахтубинской поймы при разных уровнях сброса воды плотины волжской ГЭС. *(рис.1)*.

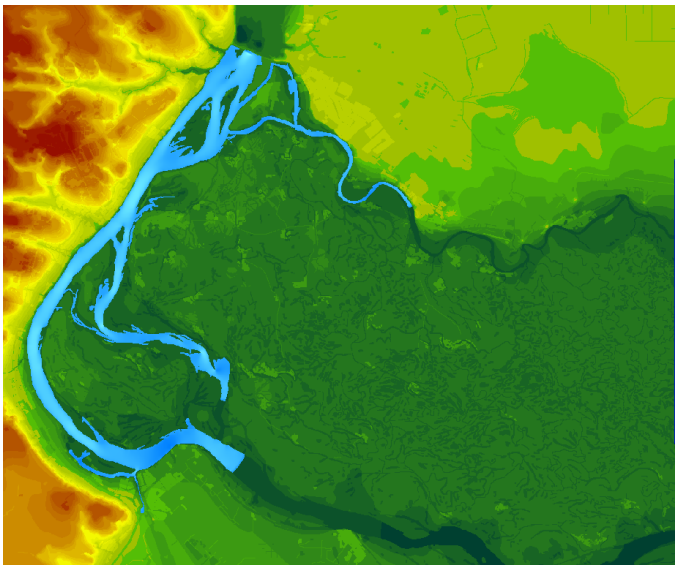


рис.1 Динамика затопления поверхности Волго-Ахтубинской поймы

Полученные результаты, позволяют сделать вывод о том, что процесс создания поверхности Волго-Ахтубинской поймы, используя данные высот srtm-3, позволяет получить карту достаточно высокой точности.

Данный метод позволяет получить модель местности точностью в 1 метр, в то время, как другие существующие топографические карты дают погрешность измерения 5-10 метров.

Список публикаций:

[1] Горяйнов В.В., Филиппов О.В., Плякин А.В., Золотарев Д.В. Волго- Ахтубинская пойма: особенности гидрографии и водного режима. -Волгоград, Волгоградское научное издательство (2004).
[2] Еремин М.А., Хоперсков А.В. Компьютерная модель прорыва Волжской плотины. Вестник Волгоградского гос. Университета. Сер. Физика., вып.10 (2006).
[3] Найденов В.И. Нелинейная динамика поверхностных вод суши. М.: Наука (2004).

Исследования спектра временных вариаций градиента электрического потенциала атмосферы вблизи земли

Коваленко Алина Александровна
Педагогический институт Южного федерального университета
Петрова Галина Григорьевна, к.ф.-м.н.
georgpu@rambler.ru

Исследования рядов динамики градиента потенциала могут способствовать выявлению генераторов атмосферного электричества различной мощности и масштаба, поскольку атмосферно-электрическое поле вблизи земной поверхности является результатом суперпозиции полей, связанных с системами зарядов и токов различного происхождения и различного масштаба.

Общеизвестна так называемая унитарная суточная вариация градиента потенциала, обусловленная функционированием глобальной атмосферно-электрической цепи. В эту цепь включена тропосфера и нижние

слои стратосферы, а высокоионизированная ионосфера является положительным электродом. Отрицательный же электрод располагается на земной поверхности. Электрически активны мезомасштабные конвективные системы с характерным размером десятки и сотни километров, сопровождающиеся интенсивными грозовыми процессами. Локальные процессы разделения зарядов могут также обусловливать появление атмосферно-электрических полей значительной величины. Наконец, хаотическое движение мелких заряженных объемов воздуха, вследствие его турбулентности, будет вызывать флуктуации электрического поля в данной точке атмосферы.

Таким образом, временные вариации градиента электрического потенциала представляют собой совокупность периодичностей разного масштаба (типа годовой или суточной волны), непериодических колебаний (типа всплесков поля в результате эпизодических возмущений с последующей его релаксацией: молниевые разряды поблизости, наэлектризованная пыль от проехавшей машины и т. п.) и так называемых шумов (турбулентные пульсации).

В данной работе предпринята попытка экспериментальных исследований спектра вариаций атмосферно-электрического поля вблизи земной поверхности.

К анализу привлекались результаты непрерывной регистрации градиента электрического потенциала вблизи поверхности земли в течение 12 суток августа 2008 года на территории Кашарского района Ростовской области (х.Талловеров), выполненной в период геофизической экспедиции факультета физики ПИ ЮФУ. Измерения производились флюксметром «Поле-2» системы ГГО им. А.И. Воейкова. Датчик устанавливался таким образом, что измерительная пластина располагалась на уровне земной поверхности. Измерительная площадка размером около 100х100 м^2, на которой были расположены датчики, находилась на ровном поле со скошенной растительностью в сельской местности вдали от источников промышленных загрязнений атмосферы. При регистрации градиента потенциала аналоговый сигнал с выхода флюксметра преобразовывался в цифровой с помощью платы АЦП, установленной в персональный компьютер. Наряду с атмосферно - электрическими выполнялись метеорологические наблюдения, что позволяло учитывать при анализе результатов физическое состояние приземного слоя атмосферы.

В работе представлены результаты спектрального анализа вариаций электрического поля атмосферы с помощью программы статистического анализа «SPSS11 For Windows». Рассматривались отдельно периоды ночных измерений в отсутствие ветра при устойчивой стратификации атмосферы и дневные периоды, когда наблюдался ветер, и атмосфера была неустойчивой. На рис.1 в качестве примера типичных вариаций представлен ряд динамики градиента потенциала 13.08.08 с 0 до 8 часов. По горизонтальной оси на рисунке отложены номера опросов, так что отметке 3000 соответствует 1 час. На *рис.2* представлены спектрограммы градиента потенциала для данного ряда после исключения из него тренда.

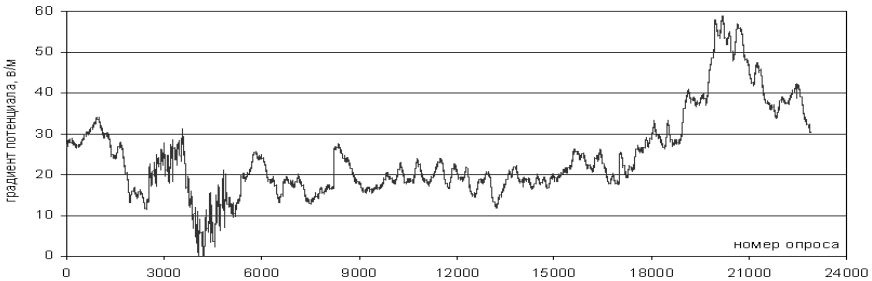


рис.1 Пример типичных вариаций градиента потенциала вблизи земной поверхности в отсутствии возмущающих факторов (х.Талловеров, 13.08.08 с 0 до 8 часов)

Анализ полученных спектрограмм показывает, что независимо от устойчивости атмосферы и ее физического состояния в вариациях градиента потенциала часто обнаруживаются внутричасовые периодичности 12-15 минут и 24-30 минут. 12-15-минутный «зубец» обусловлен, очевидно, временем релаксации атмосферы. Исследуя спектрограммы можно убедиться, что спектральная плотность периодичности 12-15 минут более чем в два раза ниже, чем таковая для 24-30 минут. Достаточно длинные ряды наблюдений позволили построить многочасовые ряды вариаций и соответствующие им спектрограммы. На каждой из них без исключения, независимо от времени суток и условий, наблюдаются пики, соответствующие 40-60 минутам (отмечались также авторами [1]), и - особенно отчетливо - 150-160 минутам (2,5 часа). Следует отметить, что на наблюдающийся в спектре колебаний электрического поля максимум, соответствующий 2 – 4 часам, указывают и другие авторы [2]. По-видимому, наблюдаемая периодичность действительно присуща градиенту потенциала атмосферно-электрического поля вблизи земли. Предстоит выяснить, чем она обусловлена.

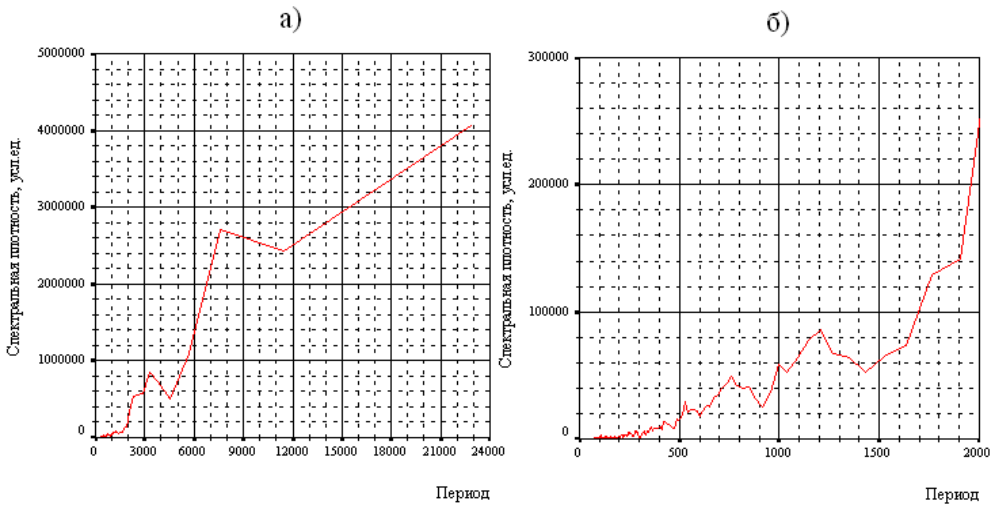


рис.2 Спектрограммы вариаций градиента потенциала, представленных на рис.1, после исключения тренда:
а) для многочасовыхх вариаций (с 0 до 8 часов 13.08.08);
б) для внутричасовых вариаций (на основании этого же ряда данных).
Отметке 3000 соответствует период 1 час, отметке 500 – 10 минутный период и т.д.

Список публикаций:
[1]Шихова Н.М., Анисимов С.В.// Труды VI Российской конференции по атмосферному электричеству. Н.Новгород: Изд-во Института прикладной физики РАН. 2007. С.95.
[2]Филиппов А.Х., Шаманский Ю.В. // Труды III Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству. Гидрометеоиздат. 1988. С.22.

Оценка гидродинамических условий размывов полотна главной автомобильной магистрали о. Сахалин

Кузнецов Константин Игоревич
Ковалев П.Д., Куркин А. А., Чернов А.Г., Шевченко Г.В.
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Куркин Андрей Александрович
konstantin.kouznetsov@gmail.com

Геоморфологические особенности о. Сахалин таковы, что наиболее пригодные участки территории для развития транспортной инфраструктуры приурочены к побережью, где широко развиты разноуровневые морские террасы. Поэтому многие транспортные коммуникации проложены в приморской береговой полосе, что несет в себе определенный риск, обусловленный разрушением берегов под воздействием штормового волнения. Один из наиболее проблемных участков побережья расположен вблизи пос. Взморье в южной части залива Терпения. Здесь располагается автомобильная и железная дороги, являющиеся главной транспортной артерией острова.

Для исследования гидродинамических процессов в прибрежной зоне моря, обусловленных трансформацией ветрового волнения на мелководье и формированием длинных инфрагравитационных волн, был организован натурный эксперимент, который включал постановку группы измерителей придонного гидростатического давления. Приборы были выставлены плотной группой в районе интенсивного размыва автомобильной дороги (106-108 километр), несколько датчиков были расположены севернее, вблизи пос. Взморье.

Хотя большинство датчиков располагалось на глубинах 10 м и более, волны зыби достаточно хорошо прописывались на донных регистраторах даже в сравнительно спокойную погоду, но были особенно заметны, когда волнение резко усиливалось. Один серьезный шторм отмечен в середине июля, еще четыре осенью, в сентябре – октябре. Наибольший размах колебаний наблюдался при сильном шторме в начале сентября – на более близкой к берегу станции 24 он достигал 3 м, на более удаленной 26 – около 2.5 м. Нужно отметить, что изучаемый район прикрыт от подхода волн северо-восточного и близких к нему румбов полуостровом Терпения. Нужно отметить, что именно это направление является наиболее опасным, так как в тыловой части циклонов обычно наблюдаются сильные и устойчивые северо-восточные и северные ветра, для которых имеется достаточная длина разгона. Для юго-восточных ветров, типичных для переднего фронта, она

ограничена Южными Курильскими островами. Для сравнения, при шторме 25-26 сентября в районе оз. Изменчивое, расположенном примерно в 100 км к югу от пос. Взморье, высота ветровых волн достигала 4.5 м, что примерно вдвое больше, чем на станции 24.

В записях волнения в течение всего периода наблюдений явно преобладали волны зыби с периодами 7-9 сек, на диаграмме они проявляются в виде довольно широкой, хорошо выраженной полосы. Особенно мощно выделялся пик на периоде 8 сек даже при сравнительно слабых штормах 8 и 15 августа (значимая высота волны достигала 2 м), причем это проявилось на всех станциях. В некоторых случаях можно отметить, помимо указанной полосы, усиление более низкочастотных колебаний, с периодами 10-15 секунд, причем изменение периода энергетического максимума колебаний происходило равномерно, каждый раз наиболее низкочастотные волны проявлялись раньше, и период во времени уменьшался (полоса имеет характерный наклон).

В некоторых ситуациях этот низкочастотный пик является основным, что характерно для спокойных погодных условий. Наиболее низкочастотные волны были обнаружены при анализе волновых процессов 23-26 августа. В этот период отмечены волны зыби с периодом около 20 сек, но их высота была сравнительно небольшой, около полуметра. Наиболее вероятно, это связано с проникновением океанской зыби в Охотское море – в изучаемом районе волны с такими пространственно-временными масштабами вряд ли могли образоваться.

Другой примечательной особенностью, отмеченной при анализе спектрально-временных диаграмм, явилось резкое (примерно на два порядка) возрастание энергии колебаний в диапазоне инфрагравитационных волн (периоды от 20-200 сек) при штормовых ситуациях. При этом в указанном диапазоне не наблюдается четких, хорошо выраженных максимумов как на удаленной станции 26, так и на более близкой к берегу станции 24. Когерентность в диапазоне инрагравитационных волн невелика, поэтому анализировать фазовые спектры между данными станциями не имеет смысла. Возможно, расстояние между приборами было слишком большим в данном случае для подобных расчетов.

Но подобная структура спектра характерна не для всех станций. Наиболее важным результатом анализа полученных в ходе проведения эксперимента материалов явились обнаружение на станции 23 мощных, хорошо выраженных пиков на периодах около 150 и 75 секунд, особенно хорошо они выделялись во время штормовой ситуации 25 сентября. Причем в спокойную погоду (в августе) более низкочастотный пик был существенно ослаблен, в то время как пик с периодом около 75 секунд был хорошо выражен и статистически значим. Наличие этого пика, по крайней мере, в такой выраженной форме, было характерно только для одной этой станции.

Подобные мелкомасштабные вариации спектральных характеристик на станциях, разнесенных как вдоль, так и поперек берега, характерны для краевых захваченных волн, которые образуют в прибрежной зоне своеобразные ячейки прямоугольной формы. Соответственно, станции могут попадать в пучности и узловые линии колебаний, в данном случае, вероятно, линия станций 24-29-26 скорее всего была расположена близко к узловой линии, в 23, наоборот, в районе пучности. Отметим, что в районе оз.Изменчивое краевые волны имели периоды около 70 и 120 сек, что согласуется с результатами, полученными в настоящем эксперименте. Пространственная структура донных отложений в указанном районе характеризовалась наличием поперечных берегу валов с расстоянием между ними около 800 м, что также близко к характерному расстоянию между фестонами в районе пос. Взморье. Хотя детальное исследование роли краевых волн в изучаемом районе еще предстоит выполнить, на основе имеющихся данных можно сделать предварительный вывод о их влиянии на формирование квазиритмических форм прибрежного рельефа.

Наиболее характерной особенностью хода уровня в период измерений явилось его заметное возрастание начиная со второй декады сентября. Это повышение было весьма значительным, около 30 см, и на его фоне особенно резко проявлялись штормовые нагоны, которые были, вообще говоря, умеренными. Возможно, такой характер вариаций уровня связан с его сезонной перестройкой, хотя максимальные значения здесь наблюдаются обычно существенно позже, в декабре или январе. В любом случае, наблюдаемое возрастание уровня в осенний период приводит к усилению воздействия ветрового волнения на побережье и может быть дополнительным фактором риска для берегозащитных сооружений.

Фрактальный анализ УНЧ геомагнитных данных в период подготовки землетрясения

Московченко Лариса Григорьевна

Дальневосточный государственный университет

lgmoskov@ifit.phys.dvgu.ru

Литосфера Земли может быть отнесена к системам, которые находится в состоянии самоорганизованной критичности (СОК). В таком состоянии система становится особенно чувствительной к любым внешним воздействиям, и в ней могут возникать большие лавины (мощные события). Главной характерной особенностью состояния СОК является фрактальная организация выходных параметров как в пространстве (масштабно-инвариантные структуры), так и во времени (фликер шум или 1/f шум).

УНЧ электромагнитное излучение (ЭМИ) литосферного происхождения, регистрируемое в сейсмоактивных районах, отражает процессы, происходящие в земной коре в период подготовки землетрясения и, следовательно, может рассматриваться как предвестник катастрофического события. Магнитометрические данные представляются в виде иррегулярных временных рядов, и было показано, что эти ряды обладают фрактальными свойствами. В совместных работах российских и японских исследователей [1, 2] был проведен фрактальный анализ ЭМИ в период подготовки нескольких крупных землетрясений. Было показано, что фрактальная размерность временного ряда возрастает перед землетрясением, т. е. возрастает степень его иррегулярности. Интенсивность предвестников и степень их заблаговременности зависят, в частности, от глубины очага землетрясения. Наиболее отчетливо эффект проявляется в случае мелкофокусных событий.

В данной работе для анализа фрактальной размерности ЭМИ в период подготовки землетрясения был использован метод Хигучи [3]. Этот метод относится к группе методов фрактального анализа, основанных на определении длины фрактальной кривой. В случае анализа временного ряда длина кривой определяется суммой приращений ординаты. Метод Хигучи состоит в следующем.

Рассматриваемый временной ряд $X(j)$, j=1, 2, …, N, разбивается на несколько временных рядов $X_k^{\,m}$, определяемых следующим образом: $X(m)$, $X(m+k)$, $X(m+2k)$, …, $X\left(m+\left[\frac{N-m}{k}\right]k\right)$, m=1, 2, …, k. Здесь $[(N-m)/k]$ - наибольшее целое значение, не превышающее $(N-m)/k$. Длина кривой, соответствующей ряду $X_k^{\,m}$, вычисляется по формуле

$$L_m(k)=\left\{\left(\sum_{i=1}^{[(N-m)/k]}\left|X(m+ik)-X(m+(i-1)k)\right|\right)\frac{N-1}{[(N-m)/k]k}\right\}\Big/k, \qquad (1)$$

где $\frac{N-1}{[(N-m)/k]k}$ - нормализующий множитель. Окончательно длина кривой, соответствующей временному масштабу k, определяется как арифметическое среднее по k значений, каждое из которых есть $L_m(k)$. Если временной ряд $X(j)$ обладает фрактальными свойствами, то полученная таким способом длина подчиняется степенному закону $L(k)\propto k^{-D_0}$, где D_0 - фрактальная размерность ряда.

Для анализа было выбрано землетрясение магнитудой 6,2 балла, которое произошло 26 февраля 2000 г. вблизи о. Гуам ($\varphi=13{,}80^0$, $\lambda=144{,}78^0$) на глубине 132 км. Цифровые записи трех компонент (H, D, Z) магнитного поля Земли (МПЗ) с частотой дискретизации 0,1 Hz получены на обсерватории Гуам ($\varphi=13{,}58^0$, $\lambda=144{,}87^0$), США, расположенной на расстоянии 25 км от эпицентра. Данные были любезно предоставлены проектом «2100 Magnetic Field Database» (Центр по изучению космической погоды университета Кюсю; Лаборатория солнечно-земных связей, Университет Нагоя, Япония). В работе использовались записи горизонтальной H (север-юг) и вертикальной Z компонент МПЗ за период с 1 декабря 1999 г. по 10 марта 2000 г. Для каждых суток вычислялась фрактальная размерность временного ряда D_0, и по этим данным были построены графики изменения D_0 в период подготовки землетрясения *(рис. 1).*

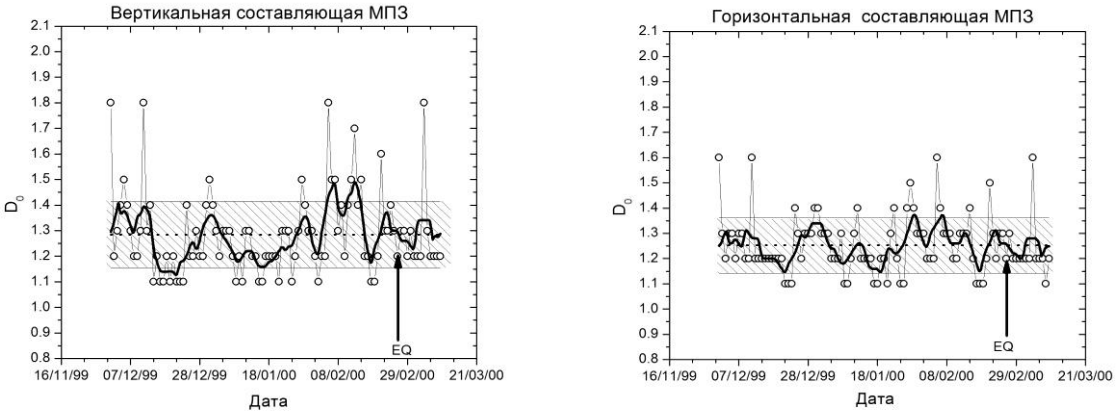


рис.1 Зависимость фрактальной размерности УНЧ излучения в период подготовки землетрясения. Кружками обозначены суточные значения фрактальной размерности, жирная линия – скользящее среднее за 5 суток, пунктирной линией отмечено среднее значение D_0, штриховкой выделена область среднеквадратичного отклонения. Стрелкой указан момент землетрясения.

На графиках мы видим увеличение фрактальной размерности в компоненте Z до значений 1,8, и в компоненте H до 1,6. Текущие значения D_0 превышают величину 2σ в моменты 80 и 20 дней перед землетрясением. Небольшое увеличение D_0 отмечается также за 55 дней до события. Непосредственно перед главным толчком период становится равным примерно 7 дням. Эти результаты хорошо согласуются с полученными в [1, 2].

В настоящее время данный метод недостаточно разработан для практического использования в целях прогноза, однако может быть полезным для изучения подготовительной фазы сильных сейсмических событий.

Список публикаций:

[1] Smirnova, N., M. Hayakawa, and K. Gotoh (2004): Precursory behavior of fractal characteristics of the ULF electromagnetic fields in seismic active zones before strong earthquakes, Physics and Chemistry of the Earth, vol. 29, pp. 445-451.
[2] Gotoh, K., M. Hayakawa, and N. Smirnova (2003): Fractal analysis of the ULF geomagnetic data obtained at Izu Peninsula, Japan in relation to the nearby earthquake swarm of June-August 2000, Natural Hazards and Earth System Sciences (NHESS), vol. 3, No. 3/4, pp. 229-236.
[3] Higuchi, T (1988): Approach to an Irregular Time Series on the Basis of Fractal Theory, Physica D 31, pp. 277-283.

Исследование водонасыщенности кернов горных пород методом высокочастотной кондуктометрии

Мухаметзянова Алина Флоритовна
Пыхов Данила Сергеевич, Сушко Борис Константинович
Уфимский филиал Оренбургского государственного университета
Sushko_b@mail.ru

Исследования керна, извлеченного из скважины, позволяют получить обильную геофизическую информацию о строении слоев земной коры и протекающих в них процессах. По керновому материалу можно установить типы горных пород, последовательность их залегания и состав, выявить наличие в них складчатых и разрывных структур, определить количественные характеристики трещиноватости пород, изучить рудную минерализацию, а также нефте- и водонасыщенность пластов [1].

Изучение водонасыщенности пластов с использованием кернового материала имеет в геофизике большое значение. Распределение воды в порах пласта существенно влияет на фазовые проницаемости пород для нефти, воды и газа. Водонасыщенность связана также с другими важными характеристиками пласта – со смачиваемостью пород вытесняющими жидкостями, с интенсивностью капиллярных процессов в пласте и с количеством нефти в поровом пространстве пласта. Исследование водонасыщенности кернов проводится при подсчете запасов полезных ископаемых и при составлении проектов разработки месторождений.

Содержание воды в керне обычно рассчитывается по разности массы керна до и после высушивания в сушильном шкафу или определяется путем экстрагирования образцов в приборе Дина и Старка (или в приборе

С. Л. Закса) в условиях лаборатории. Во избежание испарения воды при транспортировке в лабораторию поднятого керна, его приходится консервировать - парафинировать или перевозить в закрытых сосудах под слоем нефти, добытой из той же скважины. Исследования показывают, что не законсервированные должным образом образцы песчаника за сутки, прошедшие после подъема на поверхность, теряют до 30% первоначально содержавшейся в них воды [2]. Таким образом, оперативное определение водонасыщенности керна имеет большое значение для повышения точности измерений.

Нами разработан метод, позволяющий оперативно, сразу после подъема керна из скважины, определять водонасыщенность горных пород с помощью аппаратуры высокочастотной кондуктометрии. Метод основан на определении электрофизических параметров керна, которые во многом зависят от влажности исследуемого материала.

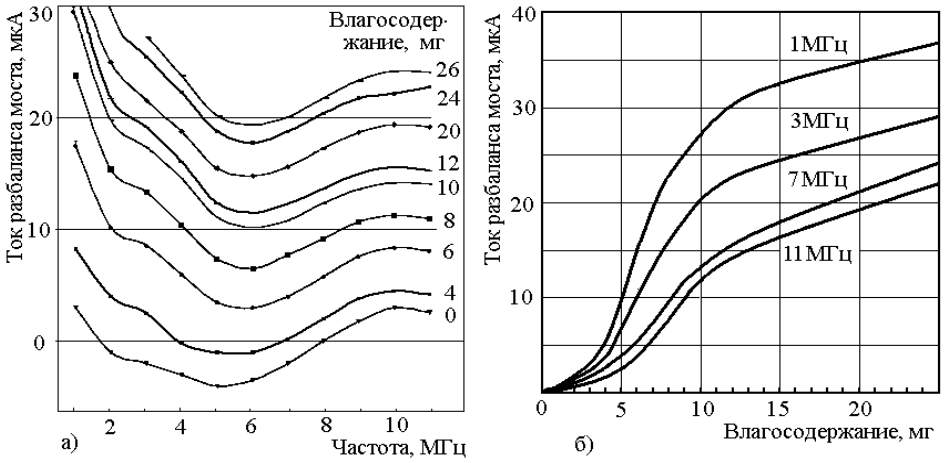


рис.1 а) Зависимость выходного сигнала кондуктометра от частоты; б) Зависимость выходного сигнала кондуктометра от влагосодержания керна.

В качестве устройства для проведения кондуктометрического высокочастотного анализа нами использовалась схема Z-метра, описанная в работе [3]. Емкостная измерительная ячейка с образцом керна, помещаемым между обкладками конденсатора, включалась в одно из плеч двойного нелинейного Т-образного моста. В другое плечо моста включался эквивалент ячейки, представляющий собою конденсатор переменной емкости С. Питание моста осуществлялось от генератора высокой частоты. Подстройкой емкости С можно уравновесить мост перед началом проведения измерений, предварительно поместив в измерительную ячейку образец керна, высушенный в печи до нулевой влажности. Измерения влагосодержания в образце керна проводились методом неуравновешенного моста. Дозированное увлажнение керна изменяло его влагосодержание, при этом менялось значение емкости измерительной ячейки и увеличивался сигнал рассогласования моста, который регистрировался с помощью чувствительного измерительного прибора - микроамперметра.

На *рис.1-а* приведено семейство зависимостей выходного сигнала кондуктометра по постоянному току (тока рассогласования моста) от частоты генератора опорного напряжения. В качестве параметра у каждой кривой указано влагосодержание в мл воды на 100 г кернового материала. Графики снимались при фиксированном значении выходного напряжения высокочастотного генератора. Из кривых видно, что исследованный частотный диапазон опорного напряжения (1 ÷ 10 МГц) пригоден для определения влагосодержания кернового материала.

На *рис.1-б* приведено полученное нами семейство зависимостей выходного сигнала кондуктометра по постоянному току (тока рассогласования моста) от влагосодержания (на 100 г кернового материала), снятых при четырех значениях фиксированных частот генератора высокой частоты. При снятии этих графиков «0» моста выставлялся для каждой кривой по нулевому влагосодержанию керна (нижняя кривая *рис.1-а*). Из рисунка видим, что на каждом графике можно выделить три области – начальную (0÷5 мг), среднюю (5÷13 мг) и верхнюю (13÷25 мг). Средняя область графиков характеризуется максимальной крутизной, т. е. максимальной чувствительностью устройства к изменению влагосодержания. Для верхней области чувствительность несколько меньше, но вполне достаточна для проведения измерений. При работе на начальном участке графиков чувствительность измерений относительно мала, но может быть повышена путем использования дополнительного усилителя полезного сигнала. Наличие на графиках указанных трех областей мы связываем с различными этапами образования капиллярных каналов проводимости сквозь толщу кернового материала.

Проведенные измерения показали, что с помощью предлагаемого прибора можно быстро и с достаточной степенью точности определять общее влагосодержание в керновом материале, а прибор может быть использован для проведения оперативных измерений влагосодержания в полевых условиях.

Список публикаций:
[1] Гельфгат М. Я, Казанский В. И. // Нефтяное хозяйство. - 1983. - № 1. - С. 7 - 9.
[2] Котяхов Ф. И. Физика нефтяных и газовых коллекторов. – М.: Недра, 1977. – 287 с.
[3] Заринский В. А., Ермаков В. И. Высокочастотный химический анализ. – М.: Наука, 1970. - 200 с.

Исследование состояния фитопланктонных сообществ на основе спутниковых данных солнечно-индуцированной флуоресценции хлорофилла-а

Саклакова Виктория Вячеславовна
Морской государственный университет имени адмирала Г. И.Невельского
Салюк Павел Анатольевич, к.ф.-м.н.
lapusenok_17@mail.ru

Фитопланктон оказывает значительное влияние на состояние океана и радиационно-активные компоненты атмосферы, являясь важным фактором, который определяет существующий баланс в экосистеме Земли. Фитопланктон производит примерно половину вновь поступающего кислорода в атмосферу на планете, и изымает примерно столько же углекислого газа, как и леса. Кроме этого он является источником диметилсульфида в атмосферу, который становится центром конденсации облаков. Фитопланктон - базовое звено пищевой цепи в Океане. При этом в отличие от основной массы наземных растений, он способен обновлять свою популяцию за несколько недель, что говорит о способности к быстрой адаптации в изменяющихся внешних условиях. С развитием спутниковых методов зондирования океана стало возможным проводить оперативный анализ функционирования фитопланктонных сообществ на больших акваториях. Сканеры цвета последних поколений кроме концентрации хлорофилла-а позволяют оценивать интенсивность флуоресценции хлорофилла-а.

В данной работе анализировалось отношение спутниковых данных концентрации хлорафилла-а (chl) к флуоресценции(flh). Это отношение может зависеть от эффективности работы фотосинтетического аппарата клетки фитопланктона [1]; от видового состава; светового режима; систематических ошибок определения концентрации хлорофилла со спутников, вызванных поступлением большого количества растворенных органических веществ, не связанных с жизнедеятельностью фитопланктонных сообществ; от периода развития клетки; от вертикального распределения концентрации фитопланктона по глубине [2].

Анализ был проведен в различных районах Мирового океана, выбранных таким образом, чтобы факторы, влияющие на chl/flh, были различны. На *рис.1* показаны границы выделенных районов, градациями серого цвета обозначены значения концентрации хлорафилла-а. Беринговое и Охотское моря (районы 1 и 2) – это высоко биопродуктивные воды с большим поступлением питательных веществ и с относительно низким поступлением солнечной радиации. Японское море (район 3) – среднепродуктивные воды, с видовым составом, отличным от районов 1 и 2. Восточно-китайское и Желтое моря (район 4) подвержены сильному влиянию стока рек из континентальных районов Китая, испытывающих антропогенное воздействие. Центральная часть Тихого океана к северу и к югу от экватора (районы 5 и 6, соответственно) – это хорошо прогретые воды, с малым количеством питательных веществ и с глубоко расположенным термоклинном. Их отличие состоит в том, что в 5 районе выше освещенность. Юго-западная часть Атлантического океана (район 7) была выбрана из тех соображений, что данный район находится в умеренных широтах южного полушария, а это ведет к смене периодов развития клеток фитопланктона.

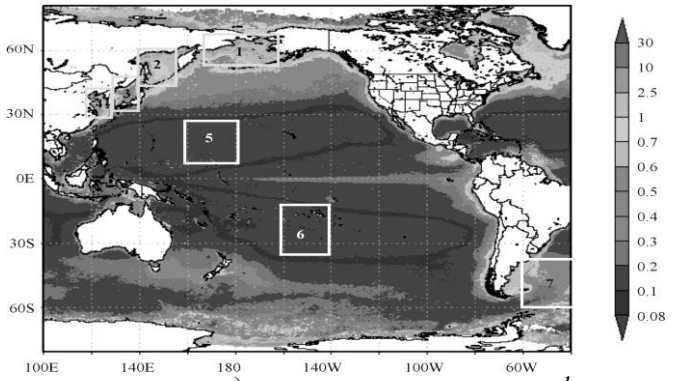


рис.1 Пространственное распределение концентрации хлорофилла-а в 2007г., мкг/л

Для анализа использовались данные третьего уровня спутникового сканера цвета морской поверхности MODIS-AQUA. В каждом районе определены периоды цветения фитопланктона по временным рядам концентрации хлоровилла-а, усредненной по пространству. В районах 1-4 наблюдалось два периода цвета: весенний и осенний; в районах 6,7 наблюдался только один период цвета, а в районе 5 не было ярко выраженного периода цвета. Основной идеей дальнейшего анализа было зафиксировать один из факторов, который влияет на отношение chl/flh, и проследить зависимость chl/flh от других факторов. С этой целью была проанализирована функция распределения вероятности параметра chl/flh в различных районах в один период развития и в пределах одного района в разные периоды развития клеток фитопланктона и выявлены основные факторы влияющие на chl/flh в различных районах Мирового океана.

Список публикаций:
[1] Abbott, M.R., Letelier, R.M., Laney, S., and Bartlett, J.S., 2000, Field and laboratory measurements of passive fluorescence and applications to MODIS data: in Proceedings of SPIE (Ocean Optics XV) CD-ROM. Palos Verdes Estates, CA: SPIE.
[2] Gower, J., and King, S., 2007, Validation of chlorophyll fluorescence derived from MERIS on the west coast of Canada. International Journal of Remote Sensing, ***28****, pp. 625-635.*

Результаты наблюдений за концентрацией радона-222 в почвенном газе и в приземном слое атмосферы

Старостин Сергей Юрьевич
Терентьев Артем Вадимович
Педагогический институт Южного федерального университета
Панчишкина Ирина Николаевна, к.ф.-м.н.
georgpu@rambler.ru

Радиоактивные элементы существуют повсеместно, и радиация, связанная с ними является одной из природных составляющих окружающей среды, представляющих большой интерес с экологической точки зрения. Особенно велика роль в радиационном воздействии на человека радона-222, входящего в ряд урана-238. В цепочке распада среди нелетучих элементов только радон является исключением. Радон-222 - благородный газ, α-радиоактивен, способен к распространению в окружающей среде путем диффузии или конвекции, имеет достаточно большой период полураспада (T=3,8 сут), что позволяет ему перемещаться по порам и трещинам в почве и поступать в атмосферу, где при определенных условиях он может накапливаться в значительных концентрациях.

Мониторинг радона-222 используется при поиске полезных ископаемых, лежит в основе некоторых способов предсказания землетрясений, диагностики скважин и вулканической активности. В метеорологии наблюдения за концентрацией радона позволяют анализировать структуру и динамику атмосферы, изучать перенос аэрозоля в атмосфере и определять его возраст. Учитывая, что радон является одним из основных источников ионов в нижнем слое атмосферы, исследования его концентрации необходимы при изучении электрического состояния атмосферы вблизи земной поверхности.

Целью настоящей работы было выяснение особенностей распределения и изменения концентрации радона-222 в почвенном газе и в приземном слое атмосферы по результатам экспедиционных измерений в различных пунктах Ростовской области.

Измерения концентрации радона в почвенном газе и в атмосфере проводились радонометром “Alphaguard”, работающего по методу ионизационной камеры. Специальные фильтры обеспечивают попадание внутрь камеры радиоактивного изотопа $^{86}Rn_{222}$, задерживая другие радиоактивные элементы. Значения объемной активности Rn-222 усредняются прибором для 10-минутных интервалов. Забор почвенного газа осуществлялся при помощи почвенного датчика с глубин 10, 60 и 90 см. В атмосфере концентрация радона измерялась на пяти высотах в слое от 0 до 2 м.

Наблюдения показали, что концентрация радона в почвенном газе возрастает с глубиной, при этом распределении существует поток радона к поверхности земли, благодаря которому образующийся в почвенных порах радиоактивный газ выделяется в атмосферу. Были проведены измерения концентрации радона в почвенном газе и в атмосфере в 9 точках площадки 50x50 м^2. Обнаружена связь между неоднородностями содержания радона в почве и в атмосфере у поверхности земли. Рассчитаны коэффициенты эксхаляции радона из почвы в атмосферу для разных пунктов наблюдений на основе данных о концентрации радона в почве на разных глубинах. На основании результатов измерений установлено, что концентрация радона в почвенном газе на глубине 0,9 м изменяется в течение суток *(рис.1).*

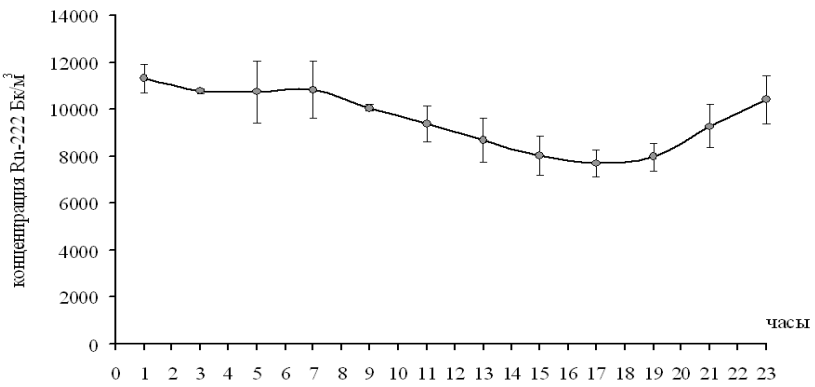


рис.1 Средний суточный ход концентрации радона-222 в почвенном газе по результатам измерений в х.Талловеров Ростовской области (август 2009 г.). Планками погрешностей показана статистическая ошибка.

Физико-статистический анализ данных о концентрации радона в воздухе в различных пунктах наблюдений обнаруживает их значительную пространственно-временную изменчивость. Коэффициент вариации за период наблюдений составляет 85-100% для сельских районов Ростовской области и 65-85% для г.Ростова-на-Дону. Данные о концентрации радона в атмосфере на различных высотах приведены в таблице:

Пункт наблюдений	Число случаев	Статистическая характеристика	*высота, м*				
			0	*0,3*	*0,6*	*1,0*	*2,0*
Ростов-на-Дону 2000	52	***Среднее, Бк/м³***	***38***	***30***	***29***	***25***	***23***
		Станд.отклон.	27	25	19	16	17
Орловский 1999	69	***Среднее, Бк/м³***	***53***	***48***	***46***	***43***	***40***
		Станд.отклон.	47	48	45	43	38
Платов 2003-2005	278	***Среднее, Бк/м³***	***49***	***41***	***36***	***34***	***32***
		Станд.отклон.	43	36	33	30	27
Михайловка 1995-1998	265	***Среднее, Бк/м³***	***32***	***30***	***29***	***27***	***24***
		Станд.отклон.	32	29	30	28	23
Таловеров 2006-2007	165	***Среднее, Бк/м³***	***40***	***34***	***32***	***29***	***27***
		Станд.отклон.	33	30	28	25	21

Следует отметить, что в Ростовской области во всех пунктах измерений вблизи земной поверхности на открытой площадке в 10-30% случаев от общего числа значений наблюдаются концентрации радона-222, превышающие ПДК (100 Бк/м3). Особенно много радона в атмосфере в ночные часы с малой скоростью ветра, когда ослаблены процессы перемешивания атмосферы, и радон, выделяясь из почвы, скапливается вблизи ее поверхности, достигая значительных концентраций, повышая опасность радиационного воздействия на живые организмы.

Роль радона-222 в формировании пространственно-временных вариаций градиента потенциала электрического поля в приземном слое атмосферы

Старостина Ольга Павловна

Педагогический институт Южного федерального университета

Петров Анатолий Иванович, доцент

georgpu@rambler.ru

Электрическое поле в каждой точке наблюдения создается как глобальной составляющей, связанной с разностью потенциалов между ионосферой и земной поверхностью, так и локальной, связанной с распределением объемных зарядов. Локальными факторами, оказывающими существенное влияние на структуру приземного электродного слоя, являются: действие электродного эффекта, турбулентное перемешивание ионов в атмосфере, источники ионизации и наличие аэрозольных частиц.

По современным теоретическим представлениям атмосферного электричества основным ионизатором приземного слоя воздуха является почвенный радон-222, который попадая из почвы в атмосферу, распространяется с потоками воздуха по ее объему. Содержание радона в атмосфере зависит от многих факторов, в частности, от скорости поступления его из почвы, а также скорости рассеивания в атмосфере, которые в свою очередь зависят от многих других метеорологических и географических факторов. Так интенсивность выделения радиоактивных веществ может определяться состоянием поверхности почвы (температурой, влажностью, характером покрова), а скорость рассеивания их в атмосфере определяется перемешиванием атмосферы (атмосферной турбулентностью).

Многолетние комплексные исследования электродного слоя атмосферы, проводимые лабораторией геофизических исследований Педагогического института Южного федерального университета, включают традиционные измерения атмосферно-электрических характеристик (градиента потенциала, удельной электрической проводимости), метеорологических параметров (температуры атмосферы и почвы, скорости ветра) и измерение концентрации радона-222. Это позволяет исследовать роль радона-222 в формировании пространственно-временных вариаций градиента потенциала электрического поля атмосферы.

Следует отметить, что влияние радона на электрическое поле приземного слоя атмосферы опосредовано через процессы ионизации и изменение электропроводности по высоте. В связи с этим важным является определение корреляционных отношений между данными характеристиками и выявление вида данной связи.

В ходе исследований обнаружено, что численные значения градиента потенциала (напряженности) атмосферно-электрического поля коррелируют с концентрацией радона-222. Для оценки достоверности эмпирического коэффициента корреляции градиента потенциала электрического поля по концентрации радона подсчитывались статистическая ошибка и фактические значения критерия Стьюдента $t_ф$.

Результаты расчета эмпирических коэффициентов корреляции (η) градиента потенциала электрического поля по концентрации радона-222 по данным измерений приведены в таблице (S – статистическая ошибка, $t_ф$ – фактическое значение критерия Стьюдента, t_{St} – табличное его значение, n – число часовых серий измерений):

Высота	η		$S=\frac{1-\eta^2}{\sqrt{n}}$		$t_ф=\eta\sqrt{\frac{n-2}{1-\eta^2}}$		t_{St} (P=0,1%)
	Михайловка n=265	*Платов n=230*	*Михайловка n=265*	*Платов n=230*	*Михайловка n=265*	*Платов n=230*	
0,0	-0,46	-0,44	0,05	0,05	9,66	8,27	3,29
0,5	-0,54	-0,52	0,04	0,05	12,40	10,77	3,29
1,0	-0,54	-0,60	0,04	0,04	12,58	13,98	3,29
2,0	-0,51	-0,56	0,05	0,04	11,17	12,54	3,29

Как видно фактические значения критерия Стьюдента превышают табличные значения на высоком уровне значимости для соответствующего числа степеней свободы. Это свидетельствует о статистической достоверности полученных коэффициентов.

На распределение электрических характеристик в приземном электродном слое большое влияние оказывает метеорологический режим атмосферы, в частности температурная стратификация, обуславливающая перемешивание атмосферы и, как следствие, распределение объёмных зарядов. В связи с этим на основании данных эксперимента были построены эмпирические ряды регрессии градиента потенциала по радону в различных метеорологических условиях (для устойчивой и неустойчивой стратификации атмосферы). Эмпирические ряды регрессии градиента потенциала по радону дают представление о виде данной зависимости. Можно отметить, что эмпирические ряды регрессии хорошо аппроксимируются степенной зависимостью, при этом достоверность аппроксимации (R^2) близка к 1.

На рисунке 1 представлены эмпирические ряды регрессии градиента потенциала по концентрации радона-222 и аппроксимирующие их кривые. Планками на всех рисунках показаны значения статистической ошибки.

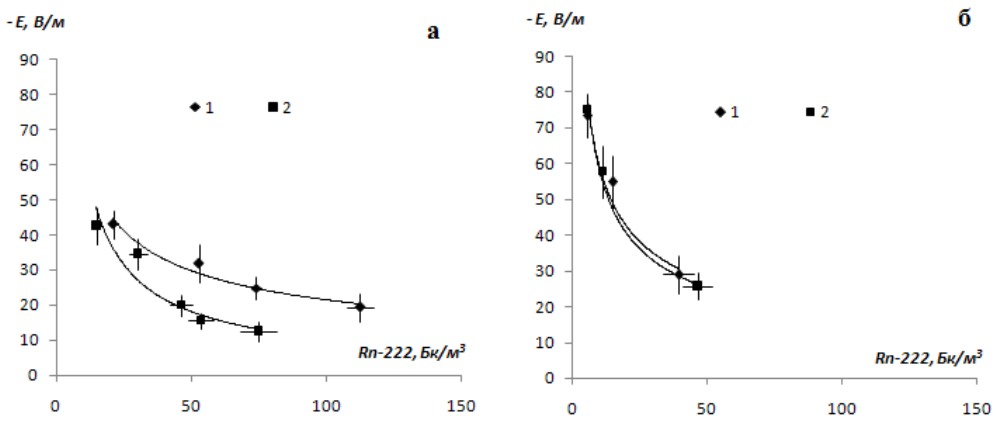


рис. 1. Эмпирические ряды регрессии и линии регрессии значений градиента потенциала по концентрации радона-222 (1- на уровне земной поверхности; 2 – на высоте 1 м)
а) устойчивая стратификация (116 серий парных измерений),
б) неустойчивая стратификация (34 серий парных измерений)

В докладе также представлены временные вариации значений градиента потенциала атмосферно-электрического поля, что позволяет рассматривать возможности практического использования результатов атмосферно-электрических измерений при решении задач прикладной геофизики.

Восстановление биооптических характеристик залива Петра Великого из данных пассивного дистанционного зондирования восходящего излучения моря и сравнительный анализ с альтернативными методами измерений

Стёпочкин Игорь Евгеньевич
Морской государственный университет им. Г.И.Невельского
Салюк Павел Анатольевич, к.ф.-м.н.
st.igor@hotmail.com

Дистанционные средства исследования состояния поверхности Земли, и в частности, поверхности океана, получили широкое распространение в настоящее время. До недавнего времени для решения подобных задач использовались в основном контактные методы измерения различных характеристик. Появление радиометрических систем изучения позволило существенно улучшить качество мониторинга океана именно в плане информационного обеспечения. Методы дистанционного зондирования имеют колоссальное преимущество перед традиционными контактными, в первую очередь из-за их оперативности; возможности получения данных практически в режиме «реального времени».

Восстановление биооптических характеристик морской среды по результатам измерения вторичных гидрооптических характеристик относится к классу обратных задач и требует определенной процедуры обращения, которую часто называют алгоритмом восстановления. Для дистанционных измерений, производимых над поверхностью океана, наиболее важной вторичной характеристикой является коэффициент яркости моря. Основываясь на спектральной кривой этой характеристики, можно получить информацию о форме кривой поглощения пигментами фитопланктона, указывающей на его пигментный состав. Эта информация дает возможность оценить видовой состав и состояние фитопланктонного сообщества в районе проводимых исследований.

В работе использовались данные, полученные в 2009-2010 гг. на акватории залива Петра Великого на НИС «Малахит» и НИС «Импульс» при помощи портативного спектрометра FieldSpec® HandHeld производства ASD Inc (спектральный диапазон 325 – 1075 нм с разрешением 1 нм). Были проведены измерения следующих величин: яркости восходящего излучения моря $L_{up}(\lambda)$, яркости неба $L_{sky}(\lambda)$, яркости излучения, отраженной от белого диска по свойствам близкого к Ламбертовской поверхности $L_d(\lambda)$. Высота установки спектрометра над уровнем моря составляла порядка 2 м, зенитный угол измерения – примерно 45^0. При расположении спектрометра вблизи носа судна этот угол, по нашему мнению, близок к оптимальному. Во-первых, при диаметре объектива равном 10^0 в поле зрения прибора не попадает пена и волны от судна. Во-вторых, не столь сильно сказывается эффект затенения корпусом судна, как при вертикальном зондировании.

Азимутальный угол – в диапазоне от 90^0 до 180^0, чтобы минимизировать солнечные блики. Число получаемых спектров за один цикл измерений составляло 20 – для яркости восходящего излучения воды, 30 – для отраженного излучения от атмосферы, 50 – для рассеянного излучения от белого диска. Для дальнейших расчетов каждая серия спектров фильтровалась на явные выбросы, после чего рассчитывался медианный спектр и спектральное распределение ошибки измерений. Все расчеты были реализованы в среде MATLAB.

Основу алгоритма обработки результатов измерений составляет гиперспектральный алгоритм.

$$L_{up} = L_w + r \cdot L_{sky} + \Delta \cdot E_d \tag{1}$$

где r – Френелевский коэффициент отражения границей раздела атмосфера-океан, Ed – освещенность морской поверхности сверху, Δ- спектральная константа. Последний член в правой части (1) учитывает вклады в восходящее излучение солнечных бликов и диффузного рассеяния морской пеной. Следовательно, экспериментальный коэффициент яркости моря может быть рассчитан:

$$\rho = (\frac{L_{up}}{E_d} - r \cdot \frac{L_{sky}}{E_d} - \Delta) \tag{2}$$

где E_d = (□Ld)/R_G и R_G – известная функция распределения отраженного света по двум направлениям отражения для используемого белого диска, r = 0.025.

В качестве модельного выражения коэффициента яркости моря через оптические характеристики среды использована формула:

$$\rho_m = \frac{\pi \cdot G}{a}[\frac{b_{bw}}{3.4} + X(\frac{400}{\lambda})^Y] \tag{3}$$

где X и Y – спектральные константы, a – полный коэффициент абсорбции морской воды, b_{bw} – коэффициент обратного рассеяния морской воды и G = 0.176, λ – длина волны излучения. Каждый параметр в выражении описывался своей функцией, и после окончательных подстановок коэффициент яркости оказался функцией пяти неизвестных параметров: $a_{g(440)}$, S, X, Y и C_{Chl}, где $a_{g(440)}$ – коэффициент абсорбции света на длине волны 440 нм дейтритами и растворенными органическими веществами, S – показатель экспоненты, описывающей спектральное распределение $a_{g(ламбда)}$, C_{Chl} – концентрация хлорофилла «а».

Оценка параметров модельных функций выполнялась на основе решения системы уравнений с использованием метода наименьших квадратов в диапазоне 430-650 нм. Всего обработано 118 спектров. Пример обработанного спектра представлен на *рис.1*. Пунктиром обозначены границы допустимой ошибки.

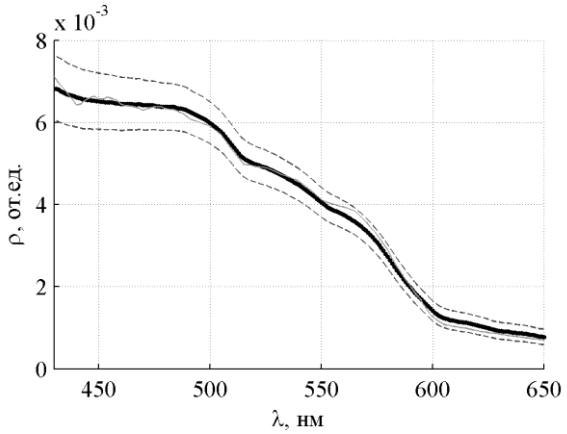


рис.1 Пример экспериментального и модельного спектров коэффициента яркости

Статистический анализ радиоимпульсов грозовых разрядов

Тарабукина Лена Дмитриевна

Якутский государственный университет имени М.К. Аммосова

Козлов Владимир Ильич, к.ф.-м.н.

Taddy-9@mail.ru

Естественный радиошум Земли в низкочастотной части спектра формируется в основном за счет затухающих при распространении в волноводе Земля–ионосфера радиоимпульсов, излучаемых молниевыми разрядами. Первоначально спектр импульса разряда в низкочастотном диапазоне представляет собой широкополосный сигнал. С увеличением расстояния от источника и с затуханием частот, соответствующих резонансу волновода, происходит разделение спектра на два поддиапазона: очень низкой частоты (ОНЧ) и сверх низкой частоты (СНЧ).

ОНЧ радиоимпульс (атмосферик) характеризует непосредственно разряд молнии. По параметрам этого радиосигнала представляется возможным определить некоторые характеристики грозовых разрядов. Тип разряда (наземный, межоблачный / внутриоблачный), знак разряда (положительный, отрицательный), пространственное распределение (угол прихода, расстояние до источника).

СНЧ радиоимпульс, следующий за атмосфериком, наблюдается не всегда. Существуют три предположения о происхождении СНЧ колебаний:

- релаксация электромагнитных колебаний в полости Земля-ионосфера, так как для диапазона с такой длиной волны понятие волновода, указанного в начале работы, трудно представимо [1];
- протекание «темнового медленного» тока после стадии возвратного удара [2], не дающего вклад в свечение молниевого канала и потому не фиксирующегося визуально;
- движение зарядов в теле спрайта – разряда «облако-ионосфера», возникающего на высоте 40-90 км, инициированного положительным разрядом «облако-Земля», и сопровождающегося видимым красным излучением [3].

Экспериментальные данные естественного радиошума для настоящей работы были получены: на территории центральной Якутии летом 2009 г. с помощью однопунктового грозопеленгатора с радиусом действия 480 км и в ходе экспедиции «Верхоянье – полюс холода» летом 2008 г. в области с повышенным числом положительных разрядов (φ = 67.95º, λ = 134.95º) [4] путем записи часовых реализаций сигналов на штыревую антенну высотой 10 м с последующим усилением и записью через АЦП в ноутбук.

По наблюдениям грозовой активности в Якутии летом 2009 г. на большом массиве данных был впервые проведен статистический анализ по следующим параметрам:

- полное количество произошедших разрядов всех типов,
- относительное число разрядов «облако-Земля» среди зарегистрированных,
- процентное соотношение отрицательных наземных разрядов к общему числу.

Вариации параметров рассматривались за сутки, месяц и полный летний период.

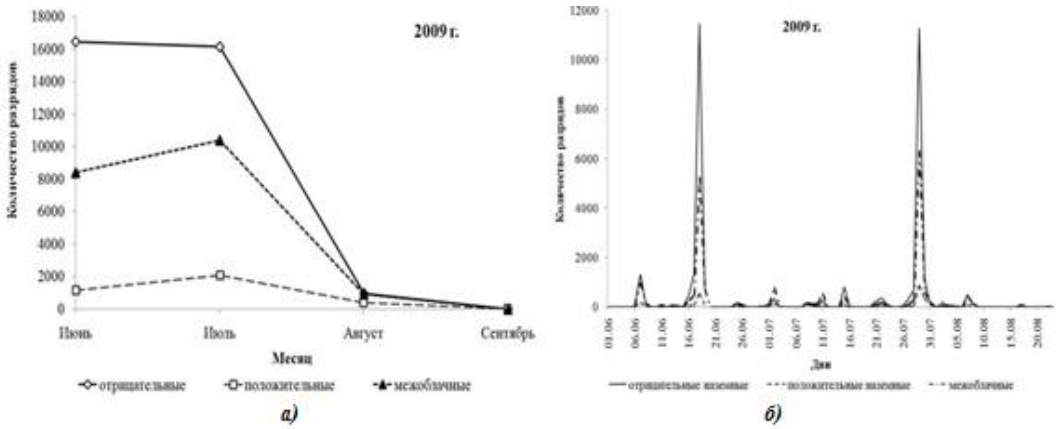


рис.1 Летняя динамика числа грозовых разрядов за 2009 г. по месяцам а) и по дням б)

Анализ показал, что грозовая активность имеет максимум интенсивности в июле и резкий спад к августу *(рис.1а)*. Наблюдается убывание, как всего числа молниевых разрядов, так и числа отрицательных разрядов

относительно межоблачных и положительных наземных. Диаграмма динамики по дням общего количества всех разрядов в 2009 г имеет вид *(рис.1б)*, характерный для данного региона, наблюдавшийся с 1993 г. и совпадающий диаграммами 1993 и 2001 г.г. [5]. Наземные разряды составили 65% от общего числа грозовых разрядов, из них 90% составляют отрицательные разряды.

По параметрам ОНЧ атмосферика были оценены дальность до источника радиосигнала (около 450 км) [6] и токи, текущие по каналу наземной молнии [7]. Медианное значение токов оказалось равным 28 кА с квартилями - 14 и 40 кА. Полученные результаты согласуются с литературными данными для Европейского и Американского континентов [7]. Большие амплитуды тока соответствуют положительным разрядам «облако-Земля».

Длительность принимаемого радиосигнала, состоящего из ОНЧ и СНЧ радиоимпульсов, изменялась в интервале от 6 до 56 мс, с модальным значением в 14 мс. СНЧ компонента была представлена частотами от 170 Гц, убывающими до 60 Гц с течением времени и наблюдалась в 67% случаев после положительного наземного разряда. Запаздывание СНЧ сигнала от соответствующего ему атмосферика лежало в пределах 7 мс с наиболее вероятными длительностями – 1 и 2 мс (36% и 37% соответственно).

В некоторых случаях наблюдается возникновение двух наложенных СНЧ компонент, ассоциированных с одним атмосфериком – 15% общего числа взятых радиосигналов. Время запаздывания второго пика амплитуды находится в пределах от 2 до 11 мс, и зарегистрирован один случай с запаздыванием 40 мс. Одновременными оптическими и радионаблюдениями в [8] было показано, что второй СНЧ радиосигнал произведен токами в теле спрайта, спровоцированного положительным наземным молниевым разрядом.

Работа поддержана грантами Президента РС(Я) для молодых ученых и студентов от 2010 г, РФФИ 08-02-00348-а, 09-05-98540-р_восток_а и программами Президиума РАН 16 и АВЦП проект № РНП 2.1.1/2555 и ФАНИ г.к.02.740.11.0248.

Список публикаций:

[1] Альперт Я. Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. - М., Изд. Наука (1972).
[2] Юман М. А. Молния. – М., Изд. Мир (1972).
[3] T. F. Bell, S. C. Reising, and U. S. Inan,, Geophys. Res. Lett., 8, 1285-1288 (1998)
[4] Муллаяров В.А., Торопов А.А., Козлов В.И., Каримов Р., Метеорология и гидрология, 6, 47–55 (2009).
[5] Козлов В.И., Муллаяров В.А. Грозовая активность в Якутии. – Якутск, Изд. СО РАН (2004).
[6] Кашпровский В.Е. Определение местоположения гроз радиотехническими методами. - М., Изд. Наука (1966).
[7] V.A Rakov., R. Thottappillil, M.A. Uman, J. Geophys. Res., 97, 11,527-11,533 (1992).
[8] S. A. Cummer, U. S. Inan, T. F. Bell, and C. P. Barrington-Leigh, Geophys. Res. Lett., 8, 1281-1284 (1998).

О точности определения скорости акустических волн при использовании различных каротажных приборов

Тарантин Михаил Викторович
Горный институт Уральского отделения РАН
gptmv@mi-perm.ru

Одним из обязательных методов исследования геофизических скважин является акустический каротаж [1]. Результаты обработки акустических данных используются при построении и уточнении сейсмических волновых моделей исследуемых толщ, а также, в совокупности с другими видами каротажа, для определения ряда свойств, в частности, коллекторских, вскрытых пород. Основной результат обработки волновых материалов – информация о скоростном строении вскрытых толщ в виде зависимости обратной скорости от глубины. Хотя стандарт проведения исследований предполагает цифровую запись определенного временного интервала, то есть фрагмента сигнала, при обработке часто используется лишь информация о первом вступлении сигнала, определяемом пороговым методом. Хотя при сейсмическом моделировании используется приближение толстослоистой среды, когда результаты акустического каротажа усредняются на значительных (до нескольких сотен метров) интервалах глубин, для нефтеразведочных работ значение имеют сантиметры глубины, а также, в последнее время – направление на наиболее проницаемый участок пласта. Таким образом, возникает задача повышения детальности скважинных акустических исследований.

Большое распространение получили приборы трехэлементного типа: с одним излучателем и двумя приемниками (или наоборот). Они позволяют определять скорости упругих волн в горной породе с детальностью около полуметра. При этом точность определения скорости пороговым методом напрямую зависит от временного шага оцифровки сигнала при его записи. Абсолютная погрешность определения скорости такими типами приборов может быть оценена по формуле

$$\delta v^{-1} = \delta T = \tau / L, \qquad (1)$$

где τ – временной шаг оцифровки сигнала (обычно 2 или 4 мкс), L – база измерения прибора (около полуметра).

Известно, что точности и надежности результатов измерений способствует их повторение. Поэтому чуть большей точностью по сравнению с предыдущим прибором имеет четырехэлементный прибор: с двумя излучателями и двумя приемниками. В случае, когда расстояния между приемными и излучающими элементами равны, имеется возможность дополнительных комбинаций каналов записи для получения так называемого виртуального зонда, что дополнительно повышает статистическую надежность результатов. Использование же симметричного прибора, приемные элементы которого расположены между излучающими, позволяет повысить точность определения не только кинематических параметров породы, но и динамических [2]. Однако, в используемой разностной схеме измерений разрешающая способность приборов определяется расстоянием между излучающими (принимающими) элементами.

Еще большее количество повторяющихся измерений может быть получено при использовании приборов с приемной антенной, когда несколько (от 4 до 16) приемников расположено эквидистантно по одну сторону от излучателя. Преимущества таких приборов очевидны. Во-первых, это возможность построения перекрывающихся годографов – зависимостей времени регистрации сигнала от расстояния от его источника до приемника, с последующим усреднением. Во-вторых, повышение детальности исследований благодаря уменьшению расстояний между приемниками. Однако, при цифровой записи сигналов соблюдается формула (1), устанавливающая соответствие между точностью определения скорости (интервального времени) волн и параметрами измерительной системы; использование всего волнового пакета позволяет повысить точность определения скорости путем уменьшения неопределенности времени вступления сигнала лишь в 2-3 раза, что оказывается не достаточным при вычислении абсолютной погрешности.

Иногда в соответствии с решаемой задачей возникает необходимость выбора между точностью и детальностью исследований: часто пропускная способность канала связи с наземной регистрирующей станцией заметно ограничена. Поэтому при фиксированном количестве приемников большая детальность (меньшая база измерения) влечет увеличение возможной погрешности определения искомых характеристик, в частности, скорости. Кроме этого, уменьшение шага оцифровки сигнала возможно за счет уменьшения длины передаваемых сигналов или уменьшения количества приемников.

В ходе работы проведено сопоставление результатов определения скорости продольных и поперечных волн различными способами, в соответствии с типом прибора. Использовались материалы, полученные трехэлементным прибором с базой измерения 50 см, четырехэлементным – с базой 40 см и прибором с 8-ю приемниками, отстоящими один от другого на 5 см. Построение виртуального зонда путем рекомбинации записей приборов с двумя приемными элементами позволяет уменьшить искажающее влияние неровностей ствола скважины и повысить достоверность получаемых данных. Для прибора с приемной антенной были рассмотрены различные методы построения скоростной характеристики среды с использованием временного и частотного пространства для всех возможных вариантов базы измерения. Наиболее устойчивый и правдоподобный результат дает построение годографа по всем (восьми) имеющимся каналам записи; попытка повышения детальности, в том числе, с использованием спектрального анализа, приводит к значительной дифференциации результирующей каротажной кривой *(рис.1)*. В соответствии с выражением (1), это обусловлено заметной погрешностью определения времени и уменьшением базы измерения. Подтверждением ошибочности результатов может служить существенное различие характера поведения скоростей продольных и поперечных волн при повышении детальности вычислений.

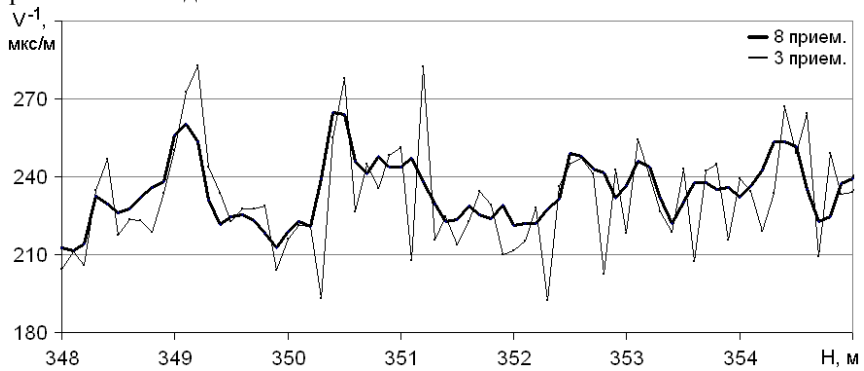


рис.1 Сравнение кривых интервального времени, вычисленных с разной детальностью

Таким образом, уменьшение измерительной базы акустических приборов позволяет повысить детальность исследований лишь при совокупном повышении точности измерений; необходимо помнить об ограничениях, накладываемых средствами регистрации сигналов.

Список публикаций:

[1] Ивакин Б.Н., Карус Е.В., Кузнецов О.Л. Акустический метод исследования скважин. М.: Недра, 1978.

[2] Тарантин М.В. // Седьмая международная научно-практическая геолого-геофизическая конференция-конкурс молодых ученых и специалистов «Геофизика-2009». СПб.: СПбГУ, 2009. с 459-462

Методика идентификации и восстановления концентраций веществ в газовой фазе путем численного анализа единичного спектра собственного теплового излучения

Фуфурин Игорь Леонидович

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Морозов Андрей Николаевич, д.ф.-м.н.

igfil@mail.ru

Рассматривается методика интерпретации спектральной информации, получаемой на фурье-спектрарадиометре. Фурье-спектрорадиометрия является бесконтактной методикой регистрации собственного теплового излучения трассы наблюдения.

Фурье-спектрорадиометр (ФСР) регистрирует интерферограмму, которая является автокорреляционной функцией входящего излучения [1]. После проведения быстрого преобразования Фурье и внесения корректировок на собственное тепловое излучения ФСР формируется энергетический спектр входящего излучения, который подлежит интерпретации, чтобы по наличию характерный спектральных линий и их интенсивности определить присутствие вещества в газовой фазе (или паров вещества), а также вычислить его концентрацию.

Рассматривается линейная модель переноса излучения в среде [2], причем полагаем, что, во-первых, все вещества в газовой фазе находятся при некоторой эффективной температуре, во-вторых, подстилающая поверхность трассы наблюдения излучает подобно абсолютно черному телу, что верно для большинства случаев (небо, облака, строения, и т.п.). На основании линейной модели энергетический спектр нормируется, что позволяет исключить температурную зависимость исследуемой спектральной функции. В [3] показано, что задача численного анализа спектральной функции сводится к системе линейных уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{N} K_h^j(\nu_i) c^j = D_\delta(\nu_i), \\ 0 \le c^j \le c^{\max}, \end{cases} \tag{1}$$

где $D_\delta(\nu_i)$ – оптическая толщина всей газовой составляющей трассы наблюдения, полученная после нормировки энергетического спектра и логарифмирования коэффициента пропускания и содержащая погрешность измерения δ; $K_h^j(\nu_i)$ – спектральный коэффициент экстинкции *j*-го поглотителя трассы наблюдения, зарегистрированный в лабораторных условиях с погрешностью *h*; c^j – искомые концентрации поглотителей, которые должны быть неотрицательны и не превышать концентраций насыщения; ν_i – сетка волновых чисел в см$^{-1}$, *N* – число газовых поглотителей трассы наблюдения. В итоге, требуется найти такое приближенное решение задачи (1) вида $\tilde{C} = R(K_h, D_\delta, h, \delta)$, что $\lim_{h,\delta \to 0} \tilde{C}_{h,\delta} = C_T$, C_T – точное решение задачи.

Обратная задача в постановке (1) является некорректно поставленной, поскольку приближенное решение может быть неустойчиво в смысле численных методов, либо если даже решение формально устойчиво, то обусловленность матрицы системы может быть очень малой. Более того, правая часть системы (1) содержит сигнатуры всех поглотителей трассы наблюдения, в т.ч. атмосферных газов. Таким образом, качественный состав рассматриваемой газовой смеси априори неизвестен.

Для решения обратной задачи в постановке (1) предлагается следующая методика: на первом этапе моделируется прохождение излучения в атмосфере и строится атмосферный спектр, наиболее соответствующий атмосферной трассе текущего эксперимента. Для этого заранее сформирована база данных спектров широкополосных атмосферных поглотителей и ряда атмосферных трасс. На основе линейной комбинации компонентов атмосферной базы данных формируется новый атмосферный спектр и минимизируется функционал рассогласования построенного атмосферного спектра и зарегистрированного спектра $e^{-D_\delta(\nu_i)}$. После этого сигнатуры сформированного атмосферного спектра удаляются из экспериментального. На втором этапе экспериментальный спектр, с удаленными атмосферными сигнатурами, проходит процедуру сопоставления с базой данных. Для этого предварительно сформирована база данных спектров регистрируемых веществ. Сопоставление производится методами корреляционного анализа [1]. Далее для отобранного вещества определяется концентрация путем минимизации функции рассогласования экспериментального спектра и референтного спектра базы данных, для которого концентрация вещества известна. В итоге, вместо решения многомерной задачи в постановке (1) предлагается решать одну или

несколько одномерных задач, решение которых устойчиво и позволяет восстанавливать концентрации регистрируемых веществ в обычных на практике условиях.

Разработанная методика прошла апробацию в серии вычислительных экспериментов, где показано что, во-первых, ошибка решения линейно возрастает с ростом среднего квадратического значения шума во входном спектре, что согласуется с теоретическими предсказаниями. Во-вторых, среднеквадратическое отклонение ошибки восстановления концентраций, которое характеризует случайную составляющую ошибки решения, также линейно зависит от среднего квадратического значения шума во входном спектре, и характеристики этой зависимости согласуются с теоретическими расчетами. В-третьих, показано, что для рабочего уровня шумов во входных спектрах $1/SNR \approx 0{,}1$, характерного для используемого класса регистрирующей аппаратуры, значение относительной ошибки восстановления концентраций не превышает 30%, что является допустимым значением для методик беспробоотборного газоанализа.

Разработанная методика прошла апробацию в лабораторных экспериментах, результаты обработки экспериментальных данных прошли сравнительный анализ с результатами обработки тех же данных другими альтернативными методиками. Показана работоспособность методики, ее преимущества по сравнению с другими методиками для определенного типа экспериментов и выявлены некоторые недостатки. Также предложенная методика прошла апробацию в натурных полевых экспериментах, где показала свою применимость для работы в режиме реального времени.

Список публикаций:

[1] Основы фурье-спектрорадиометрии // А.Н. Морозов, С.И. Светличный; [отв. ред. Г.К. Васильев] ; Инт-т энергетических проблем хим. физики РАН – М.: Наука, 2006. – 275с.

[2] Roland Harig, Gerhard Matz. Toxic cloud imaging by infrared spectrometry: A scanning FTIR system for identification and visualization // Field analytical chemistry and technology 5(1-2): 75-90, 2001.

[3] И.В. Кочиков, А.Н. Морозов, С.И. Светличный, И.Л. Фуфурин Распознавание веществ в открытой атмосфере по единичной интерферограмме фурье-спектрорадиометра // Опт. и спектр. 2009. Т. 106. №5, с. 743-749.

Численное моделирование процесса изменения давления в скважине на неустановившихся режимах фильтрации

Яковлев Ярослав Александрович

Башкирский государственный университет

Рамазанов Айрат Шайхуллинович, д.т.н.

yayakovlev@mail.ru

Гидродинамические исследования пластов (ГДИ) являются одним из важнейших методов получения наиболее достоверной информации о продуктивном пласте. Технология ГДИ, как известно, базируется на измерениях показателей работы скважин (давление, дебиты и т.д.) и интерпретации результатов этих замеров. При интерпретации ГДИ исследуются различные теоретические модели, которые связывают изменение давления с изменением дебита. Параметры модели подбираются таким образом, чтобы по известному входному сигналу (соответствующему “предыстории” работы скважины) получить отклик системы, идентичный реальным испытаниям скважины, тогда параметры модели будут соответствовать параметрам системы. Для частных случаев, когда переменный дебит описывается кусочно-постоянной функцией времени, известны классические модели МДХ, Хорнера и другие. Однако они не учитывают затухающий приток из пласта в остановленной скважине.

Применение методов численного моделирования позволяет получить множество теоретических кривых для различных моделей пластов. В связи с этим, было разработано прикладное программное обеспечение, генерирующее теоретические кривые на основе полученных аналитических решений.

Модель распределения давления на неустановившимся режиме описывается уравнением пьезопроводности с граничными условиями, соответствующими различным условиям проведения исследований. Такая задача решается аналитически с применением преобразования Лапласа. Обратный переход к действительным переменным аналитически сложен, а для некоторых случаев и невозможен. В таких случаях используется алгоритм Стефеста, позволяющий численно оценить функцию - оригинал.

Рассмотрим работу программы на примере модели бесконечного пласта, вскрытого скважиной конечного радиуса. В модели учитывается скин-фактор пласта и влияние ствола скважины. Такая модель описывается уравнением пьезопроводности с краевыми условиями:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \chi \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial p}{\partial r} \tag{1}$$

$$p\big|_{t=0} = p_0(r) = p_0 + \frac{Q}{2\pi\sigma} \ln \frac{r}{r_{weff}} \tag{2}$$

$$p\big|_{r\to\infty} = p_0(\infty) \tag{3}$$

$$2\pi\sigma \left(r \frac{\partial p}{\partial r} \right)\Bigg|_{r_{weff}} = C_s \frac{\partial p}{\partial t}\Bigg|_{r_{weff}} \tag{4}$$

Решение уравнения (1), с граничными условиями (2-4), в пространстве Лапласа получено аналитически:

$$F(s) = \frac{1}{s} \frac{1}{s + \sqrt{\frac{s}{\nu}} K_1\left(\sqrt{\frac{s}{\nu}} x \right) / K_0\left(\sqrt{\frac{s}{\nu}} x \right)} \tag{5}$$

где *F(s)* – функция комплексного переменного, ν – коэффициент, описывающий влияние ствола скважины и скин-фактора, K_0 и K_1 - функция Макдональда нулевого и первого порядка.

Переход от функции комплексного переменного к функции действительного переменного в выражении (5) осуществляется в программе с помощью численного обращения по алгоритму Стефеста. Также в программе реализован выбор и других моделей для неустановившихся процессов, решения которых получены в пространстве Лапласа. По ним строятся теоретические зависимости, используя алгоритм Стефеста обратного преобразования Лапласа.

В разработанной программе по входным гидродинамическим параметрам пласта определяются зависимости давления от времени. Для разработки программного обеспечения использовался компилятор Delphi 7. Полученные данные можно выводить в табличном виде и в виде графических зависимостей на экран, принтер и в файл. Программа имеет графический интерфейс пользователя, что обеспечивает удобство при работе с ней. Полученные теоретические зависимости можно использовать и как методический материал.