

Лекция 8

Эколого-геофизический мониторинг

1. Общие принципы эколого-геофизического мониторинга

Экологический мониторинг, направленный на изучение аномалий природных и техногенных геофизических полей, оказывающих экологически значимое воздействие на состояние фитоценозов, биоты и здоровье человека, называется эколого-геофизическим мониторингом (ЭГФМ). ЭГФМ проводится в двух вариантах:

1. Изучение собственно геофизических аномалий природного или техногенного происхождения.
2. Изучения геофизическими методами химического загрязнения, что экономически более выгодно, чем выполнять дорогостоящие аналитические работы.

Рассмотрим первый вариант как собственно ЭГФМ.

При проведении ЭГФМ природных геофизических полей изучаются аномалии ускорения силы тяжести, напряженность магнитного и электростатического полей, напряженности электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля, естественного электрического потенциала, скоростей распространения продольных и поперечных упругих волн, температуры, давления, мощности дозы радиоактивного излучения, шумовое и вибрационное воздействие

Основой проведения ЭГФМ служат построения разномасштабных эколого-геофизических карт конкретных регионов и локальных территорий. ЭГФМ может являться составной частью эколого-геологического мониторинга и мониторинга состояния недр. поэтому его сеть и

периодичность наблюдений должны соотноситься с соответствующими параметрами ЭГМ.

При проведении ЭГФМ техногенно обусловленных геофизических полей, помимо электромагнитных и магнитных аномалий изучаются также аномалии радиационного, теплового, акустического и вибрационного полей. Измерения указанных параметров могут проводиться в разных естественных средах и на различных уровнях по отношению к поверхности Земли, что делает геофизический мониторинг надежным и удобным средством получения экологической информации. Организация системы ЭГФМ подразумевает многоуровневое *комплексирование геофизических методов* различной технологической основы – дистанционных (аэрокосмических), наземных, водных и скважинных. Такого рода комплексирование позволяет охватить весь круг задач общего мониторинга и предусмотреть проведение специального мониторинга с определенными конкретными целями или на ключевых участках по более детальной, в сравнении с общим мониторингом, программе.

Дистанционные технологии ЭГФМ позволяют изучать особенности изменения природных геофизических полей крупных регионов под влиянием антропогенного воздействия, выявлять экологически значимые аномалии этих полей, обусловленные отдельными промышленными и сельскохозяйственными предприятиями, выявлять опасные источники физического загрязнения.

Наземные и водные технологии ЭГФМ включают комплексные режимные наблюдения на эталонных или ключевых участках территорий, на акваториях рек и озер, выполняемые в региональных или детальных масштабах. Целью наземного ЭГФМ является изучение воздействия аномалий природных и техногенных геофизических полей на состояние биоты и здоровье людей.

Подземные технологии ЭГФМ используют комплексные геофизические наблюдения в скважинах, шахтах и других горных

выработках. Эти технологии позволяют решать широкий круг экогеофизических задач: дозиметрический контроль подземных разработок радиоактивного минерального сырья, мониторинг экологически опасного напряженно-деформированного состояния горных массивов, аномально высоких пластовых давлений, радонового загрязнения горных выработок; выявление опасных температурных, вибрационных, акустических, электромагнитных аномалий, вызывающих негативные последствия для работающих в горных выработках людей.

Технология режимных наблюдений при проведении ЭГФМ предполагает использование традиционной аппаратной и приборной базы инженерно-гидрогеологической и экологической геофизики с добавлением специальных приборов для регистрации природных и техногенных геофизических полей.

2. Методика проведения эколого-геофизического мониторинга

Комплексирование методик позволяет охватить весь круг задач общего мониторинга и в дальнейшем по его результатам предусмотреть проведение специального мониторинга с определенными конкретными целями или на ключевых участках по более детальной, в сравнении с общим мониторингом, программе.

Экогеофизический мониторинг с применением спутниковых технологий

Позволяет прогнозировать изменение солнечной активности, магнитные бури, вариации гравитационного поля, обусловленные изменениями взаимного расположения небесных тел, состояние верхних слоев атмосферы Земли, тренд конфигурации и размеров озоновых дыр, колебания уровня космического облучения земной поверхности и т.п. Информация, получаемая спутниковой экогеофизикой, помогает познавать общие тенденции развития биосферы Земли, уточнять долгосрочные прогнозы погоды, прогнозировать качество радиосвязи, планировать агротехнические мероприятия, направленные на сохранение посевов и

повышения урожайности полей, корректировать состояние диспансерных больных.

Технологии подземного эколого-геофизического мониторинга

Используются комплексные геофизические наблюдения в скважинах, шахтах и других горных выработках. Эти технологии позволяют решать широкий круг экогеофизических задач: 1) дозиметрический контроль подземных разработок радиоактивного минерального сырья; 2) мониторинг экологически опасных зон напряженно-деформированного состояния горных массивов; 3) аномально высоких пластовых давлений, повышенной газоопасности горных выработок; 4) слежение за путями подземной миграции и минерализацией сточных вод; поиск и слежение за состоянием пластов-экранов и коллекторов для захоронения токсичных промышленных отходов; 5) для создания подземных резервуаров под долговременное хранение нефтепродуктов, гелия и др. стратегических полезных ископаемых. Для решения этих и подобных задач широко используют арсенал каротажных исследований и геофизических методов интроскопии (сейсмическое зондирование) горных массивов.

Конфигурация наблюдательной сети при проведении *специального мониторинга* должна максимально отвечать пелевым установкам и обеспечивать полноту сбора информации. Желательно, чтобы наблюдательная сеть, организованная для проведения специального мониторинга, входила как составная часть в сеть общего мониторинга при параллельном осуществлении мониторинга обоих рангов. При этом подразумевается создание определенного дополнительного числа станций или наблюдательных пунктов, что необходимо для детализации проводимых контрольных наблюдений.

Особенность организации наблюдательной сети в пределах урбанизированных территорий заключается в необходимости создания реперной сети для наблюдения за состоянием окружающей среды и

инженерных сооружений, а также отдельных их компонентов и элементов

Технология контрольных наблюдений при проведении эколого-геофизического мониторинга ориентируется на использование традиционной аппаратной и приборной базы инженерно-геологической, гидрогеологической и экологической геофизики с добавлением специальных средств наблюдения за изменениями природных и техногенных геофизических полей.

Используются следующие схемы проведения наблюдений:

- непрерывные или равномерно распределенные во времени измерения, служащие для оценки характера протекания процессов, плавно меняющихся в течение продолжительных отрезков времени;

- измерения, проводимые в некоторые выбранные моменты времени: обычно это сезонные наблюдения, фиксирующие изменения экологической обстановки в связи со сменой времен года, или циклы наблюдений, по-иному распределенные во времени и согласующиеся, например, с некоторыми природными процессами или с технологическими особенностями производства;

- нерегулярные измерения, время проведения которых заранее не фиксируется, а определяется сообразно решаемым задачам или обстановке; такой режим проведения геофизических измерений характерен по большей части для специального мониторинга, цель которого – выявление закономерностей протекания вполне определенных процессов и явлений или изучение обстановки на ограниченных по площади участках или на конкретных природных и технических объектах;

К настоящему времени еще не создана всеобъемлющая сеть эколого-геофизического мониторинга на глобальном и даже на территориальном уровне. Можно видеть лишь отдельные ее фрагменты на разных иерархических уровнях мониторинга от детального до глобального. Широко известны работы А.Л. Чижевского *по изучению влияния солнечной*

активности на состояние биосферы и здоровье населения, которые можно рассматривать как первые попытки ретроспективного эколого-геофизического мониторинга [Чижевский. 1976]. Геофизические методы широко применяются в гидрометеорологических наблюдениях, при изучении переноса загрязняющих веществ атмосферными и океаническими течениями. В полном объеме осуществляется геофизический и по сути своей экологический мониторинг аварийного блока Чернобыльской атомной электростанции

3. Мониторинг структур гидрогеодеформационного (ГГД) поля

Природа ГГД-поля

Вода наряду с целым рядом своих удивительных свойств обладает еще и свойством несжимаемости. Это свойство воды и других жидких сред нашло широкое применение в гидравлике, например, в тормозных системах автомобилей, самолетов, гидравлических домкратах и т.д. Нашло применение оно и в геологии, где на этом принципе разработан метод скважинной гидродобычи. Он, например, применен в Белгородской области на Шемраевском месторождении при добыче рыхлых богатых железных руд с большой глубины. При нефтедобычи закачивают воду в нефтяной пласт с целью повышения в нем давления, что позволяет увеличивать дебит нефтедобывающих скважин.

И вот изучение особенностей функционирования подземной гидросферы позволили в 1982 г. Г.С. Вартаняну и Г.В. Куликову сделать открытие о существовании в недрах так называемого гидрогеодеформационного поля (ГГД-поле). Представляет собой короткоживущие и быстроменяющиеся структуры деформаций в земной коре, которые гидравлически и синхронно связаны с колебаниями уровня подземных вод. Особенность их в том, что при фоновой сейсмичности эти изменения хаотичны, но на стадии, предшествующей землетрясениям они

становятся упорядоченными. Как выяснилось, это можно успешно использовать при прогнозе землетрясений.

Открытие ГГД-поля указывает на то, что гидрогеосфера чувствительно реагирует на изменения напряженного состояния недр. Развитие этих структур закономерно связано с протекающими в недрах Земли геодинамическими (в том числе и техногенными) процессами. Совокупное действие всех геодинамических факторов формирует глобально функционирующее поле напряжений-деформаций. При их активизации характер ГГД-поля перестраивается под активные в данный отрезок времени тектонические структуры. В местах, где в период геодинамической активности деформации превышают предел длительной прочности пород, происходят подвижки тектонических блоков и землетрясения.

Развитие ГГД-поля носит глобальный характер. При назревании крупных землетрясений возмущения в нем охватывают площади в удалении многих тысяч километров от эпицентра. Период перестройки этих структур может составлять от 0,5 до 1,5 года до этого события. ГГД-поле имеет большое разнообразие форм и размеров короткоживущих структур деформаций, возникающих и разрушающихся в пределах ареала наблюдений в течение суток – месяцев, граничащих друг с другом, замещающих друг друга, видоизменяющих общий рисунок поля напряжений за короткие интервалы времени. В асейсмические периоды характер ГГД-поля имеет хаотический, быстро меняющийся рисунок. По мере «созревания» сильного землетрясения хаос сменяется упорядоченностью, формированием устойчивых во времени и в пространстве структур сжатия и растяжения. Спустя некоторое время после разрядки сейсмической энергии фиксируется разрушение упорядоченной структуры ГГД-поля и восстановление структурного хаоса. Согласно теории упругой отдачи, «...после «срыва» защемленных друг с другом крыльев сейсмогенного разлома и следующего за ним землетрясения требуется некоторый временной интервал для накопления новых напряжений, способных превысить предел длительной

прочности пород и привести к очередному нарушению связности массива...». Этот интервал является относительно выдержанной величиной для региона с определенной тектонической активностью.

Мониторинг состояния ГГД-поля позволяет фиксировать многие особенности изменения напряженного состояния недр. На основе анализа получаемых данных принимается решение о характере развития геодинамической обстановки, оценивается степень ее опасности с позиции возможных сейсмических событий. Реализация метода мониторинга ГГД-поля – измерение в реальном времени ряда параметров грунтовых вод в специально пробуренных скважинах

Методы, основанные на энергетическом подходе, позволили получить интересные данные по выявленной чувствительности ГГД поля на очень удаленные сильные землетрясения. Прохождение тектонической волны от далекого, сильного землетрясения через наблюдательный пункт мониторинга ГГД-поля регистрируется проявлением всплеска кинетической энергии в подземной гидросфере. По мере затухания тектонической волны воздействие ее на подземные воды заметно снижается. С этой целью был проведен ретроспективный анализ данных ГГД поля, полученных в периоды подготовки и проявления сильных землетрясений: около о. Симушир (Курильские острова, 13 января 2007 г., Россия); около о. Хонсю (Япония) 11 марта 2011 г.; в Охотском море (Россия) 24 мая 2013 г. При этом отклик подземной гидросферы на эти землетрясения был зарегистрирован во всех сейсмоактивных регионах России, охваченных наблюдательной сетью мониторинга ГГД поля.

На базе анализа ГГД-поля построены и действуют **системы мониторинга** во многих регионах России. В частности, одна из таких систем действует в Краснодарском крае и расширяется на весь Черноморский регион и Предкавказье. Эта система мониторинга создана на базе Кубанского университета и организаций КубаньГеологии. Этим методом мониторинга пользуются и на Камчатке.

Методика анализа данных по ГГД-полю

(Из статьи Смолина Н.Н. «Мониторинг ГГД-поля в Камчатском крае»).

Обработка данных в результате наблюдений на скважинах, в Камчатском региональном центре сводится к построению карт-схем состояния ГГД-поля и графиков изменения уровня подземных вод, атмосферного давления и температуры воды.

Карты-схемы состояния ГГД-поля, позволяющие контролировать характер и темпы эволюции короткоживущих структур деформации, строятся в изолиниях параметра напряженности. «Несмотря на то, что исходные данные по формальным показателям являются собственно гидрогеологическими (например, уровень подземных вод), сущность величин, получаемых в результате последующих вычислений, приобретает геомеханическую или геофизическую природу» [3]. Значения относительных деформаций, отражающих направленность (растяжение-сжатие) и интенсивность напряженно-деформационных процессов (градации в условных единицах с различным шагом) рассчитываются по формуле:

$$e = \frac{b}{b + H_p - H_T}$$

где e – значение относительной деформации (параметр напряженности); b – база (поправочный коэффициент), равная 10 (значение согласовано с Главным информационно-прогностическим центром обработки); H_p – реперное значение УПВ в скважине на момент начала функционирования всех скважин сети, в метрах; H_T – текущее значение УПВ в данной скважине, в метрах.

В период камеральной обработки производится расчет значений e – относительных деформаций на каждый день на 09 часов по Гринвичу и построение карт на это время. Создание карт производится с помощью программы Golden Software Surfer, позволяющей на основе нерегулярной сетки скважин строить карты в изолиниях с переходящими зонами по степени интенсивности. Максимальные и минимальные значения « e » и шаг

изолиний для карт на разные даты времени остаются неизменными. Набор карт-схем ГГД-поле на любой отрезок времени, и их анализ позволяет контролировать характер и темпы эволюции короткоживущих структур деформации [3]. В асейсмические периоды ГГД-поле отличается хаотичным, быстроменяющимся рисунком, а перед сильным землетрясением формируются устойчивые во времени и пространстве структуры сжатия и растяжения (рис. 2).

Изменения уровня подземных вод и атмосферного давления как предвестники землетрясений

На стадиях подготовки землетрясений могут проявляться различные нестандартные вариации тренда уровня, которые в ходе работ по данной теме, отнесены к аномалиям:

- синхронный ход кривых уровня подземных вод (УПВ) и атмосферного давления (рис. 3),
- аномальный подъем и спад УПВ с относительно большой амплитудой («бухты»),
- ступенчатое понижение уровня воды.

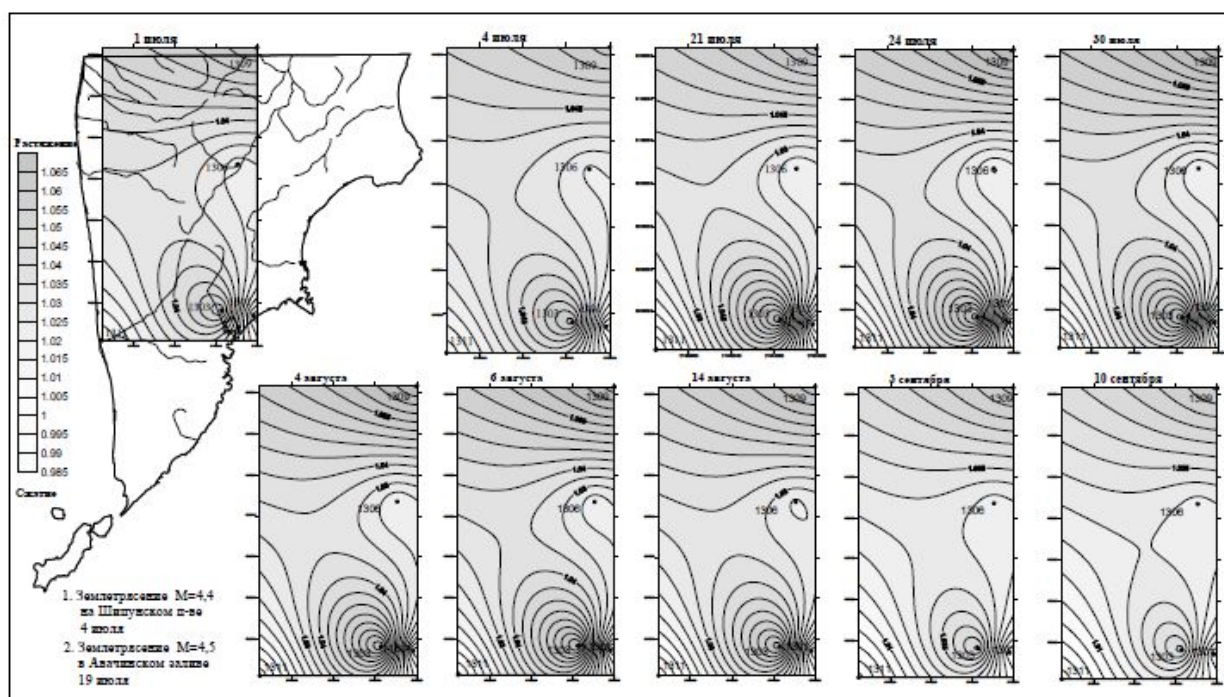


Рис. 2. Гидрогеодеформационное поле в 3-ем квартале 2007 года на территории Камчатского полуострова

Исследования показали, что заметные вариации происходят от 10-15 дней до нескольких часов до момента сильного сейсмического события. Поэтому анализ тренда уровня воды с целью выявления эффектов изменения напряженно деформированного состояния среды направлен на выделение интервалов времени его нестабильного поведения

Система наблюдений рассчитана на выявление эффектов только от сильных землетрясений (с магнитудой более 5-6), но на графиках отмечаются и изменения уровня, связанные с землетрясениями, магнитуда которых составила 4-5, при этом период активизации сейсмичности характеризуется понижением уровня подземных вод. Ход кривых перед моментом землетрясения или сейсмической активности отражается на графиках гидрогеологических параметров ГГД-поля в виде аномальных подъемов уровня подземных вод (рис.3).

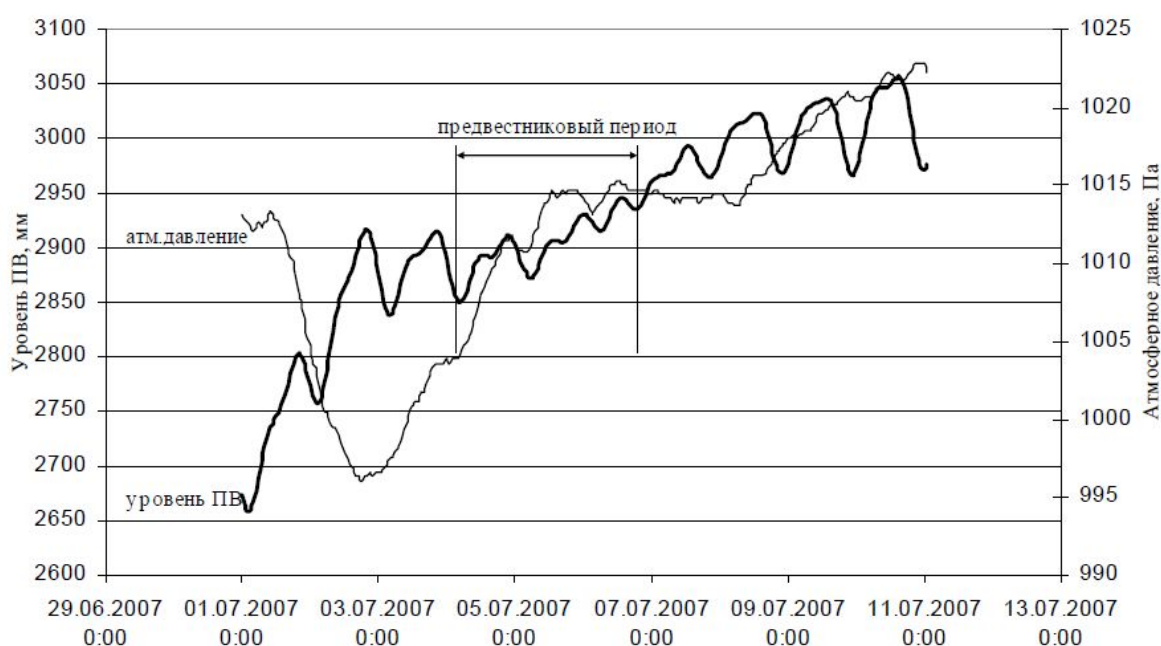


Рис. 3. Синхронный ход кривых уровня воды и атмосферного давления на ПН 1303 в июле 2007 года перед землетрясением 19 июля с $M = 4.5$ в Авачинском заливе

Гидрогеохимические показатели

В связи с возрастающей миграцией подземных вод, происходящей при увеличении действия напорных градиентов, изменяется химический состав подземных вод верхних горизонтов. Они **обогащаются**

микрокомпонентами, характерными для глубинных вод. Весьма показательны в этот период и поведение газов – радона, гелия, углекислоты, мигрирующих снизу вместе с глубинными водами. Так, в районе г. Ташкента перед землетрясением 1966 года отмечено нарастание концентрации радона. В термальных водах в это время происходит повышение концентраций гелия. Максимум таких концентраций обычно наблюдается за несколько дней до сейсмического события (Иванов, Тржцинский, [2001](#)).