

*Есенжигитова Е.Ж., Белослюдцев О.М.*

**ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКИХ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ НА ВАРИАЦИЮ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ  
ПОЛЕЙ И РАДОНА**

*E.Zh. Esenzhigitova, O.M. Belosliudtsev*

**AN INFLUENCE OF COSMIC AND GEODYNAMIC  
PROCESSES ON VARIATION OF GEOPHYSICAL  
FIELDS AND RADON**

УДК:551.78:551.24

*Показано, что предвестниковые аномалии, выявляемые в вариациях геофизических полей и радона имеют ряд феноменологических свойств – дальное действие, мозаичность и крайне нестабильное развитие во времени. Механизм их образования представляет собой сложное сочетание многочисленных факторов, часть которых рассмотрена в настоящей работе*

*It is shown that anomalies in variations of geophysical fields and radon have some phenomenologic features – acting from remote areas, mosaic pattern and very unstable temporary development. An origin of their occurrence are complicated mix of numerous factors. Some of them are investigated at this article.*

Вариации геофизических полей, регистрируемые в любой точке земной поверхности, представляют собой суперпозицию периодических и нерегулярных компонент, имеющих различные амплитудно-частотные характеристики и природу. Разрабатываемый в Институте сейсмологии методологический подход к анализу временных рядов основывается на представлении о том, что реально наблюдаемые временные ряды геофизических полей (ГФП) являются интегральным природно-техногенным сигналом со сложным спектром колебания поля [1]. Исходя из этого, задача поиска (обнаружения) предвестника в ГФП представляется как задача выделения полезного сигнала (предвестника) на фоне помех. В соответствии с этими представлениями анализ и истолкование материалов многолетних наблюдений на стационарных пунктах сводится к анализу частотного состава регистрируемого временного ряда и исследованию пространственно-временных особенностей и информативности каждой из выделенных гармоник для целей прогноза землетрясений. Поэтому первым этапом исследования является выделение регулярных и нерегулярных компонент из структурированных временных рядов.

Поведения временных рядов наблюдаемых полей – в изменениях уровня постоянной составляющей сигнала – поиске аperiodического сигнала специфической морфологии, «бухты» положительной или отрицательной полярности, отклонения от закономерного хода исследуемого параметра – его тренда. Как правило, выделение аномалий-предвестников при визуальной интерпретации графиков наблюдаемых параметров, вносит элемент субъективизма в результаты, которые могут быть интерпретированы разными специалистами неоднозначно. Сами же наблюдаемые параметры могут иметь (и имеют) значительные по величине периодические вариации различных периодов – от многолетних до периодов, исчисляемых первыми часами. Некоторые из этих вариаций, происходящие перед землетрясениями, могут быть приняты за прогностические аномалии. И наоборот, слабые предвестниковые аномалии могут быть заглушены сильными сезонными вариациями или долговременным трендом.

Для обнаружения локальных эффектов при подготовке землетрясений на территории Алматинского прогностического полигона (АПП), то есть тектономагнитный эффект в условиях Северного Тянь-Шаня (СТШ) в связи, скорее всего, с малой величиной магнитной восприимчивости  $\kappa$  горных пород, слагающих земную кору исследуемого региона, проявляется очень слабо, и амплитуда локальных вариаций, возникающих в стационарном магнитном поле, не превышает уровня шумов и помех. На рисунке 1 показано геомагнитное поле (ГМП), рассчитанные для среднесуточных значений модуля полного вектора магнитного поля для станций Тургенъ и Курты в течение 1990г. в 2-месячных временных окнах. Для выделения краткосрочных магнитных аномалий в реальном времени была разработана методика упрощенного расчета функции когерентности, основанная на расчете корреляционной функции числа нуль-пересечений графиков в скользящем окне 30 сут.

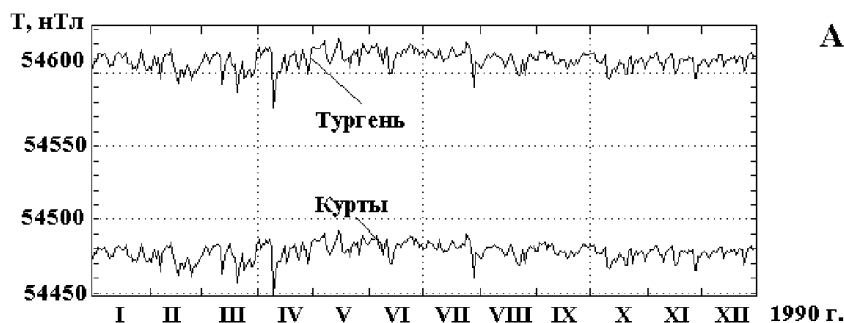
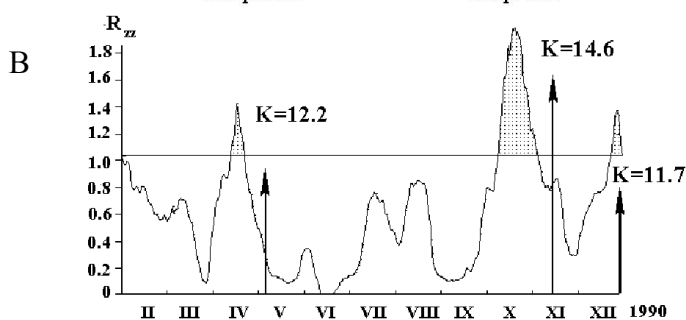
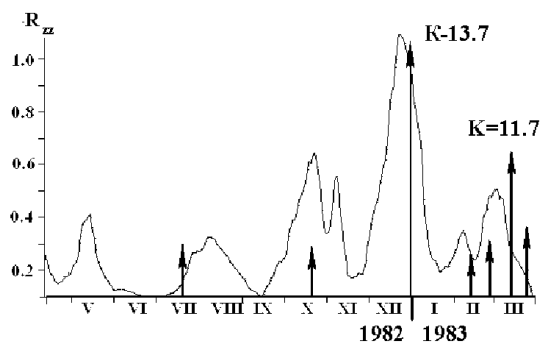
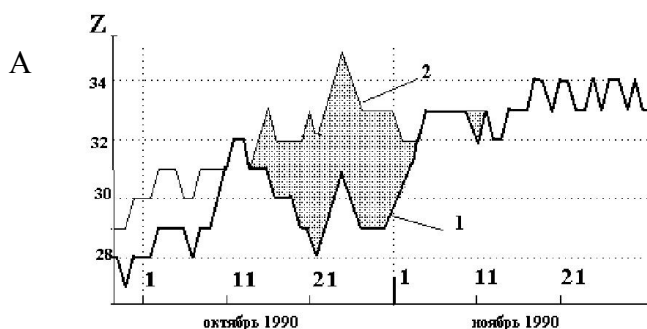
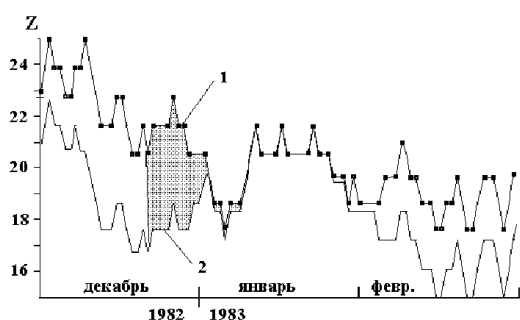


Рис. 1. Среднесуточные значения модуля Т на станциях Алматинского полигона Тургень и Курты (А)



А – в период землетрясений 31.12.1982, Б – 12.11.1990 (2);  
В, Г – их корреляционные функции

Рис. 2. Схема выделения аномалии в числе Z нуль-пересечений на МВС Тургень (1) и Курты (2)

Предварительно первичные ряды центрировались путем высокочастотной фильтрации. На рисунке 2, А показаны графики числа нуль-пересечений Z в ВЧ-области при периоде среза  $T_{cp} < 7$  сут. среднесуточных (медианных) данных наблюдаемых значений модуля полного вектора магнитного поля в окне 30 сут., рассчитанных для магнитовариационных станции (МВС) Тургень (кривая 1) и Курты (кривая 2) перед землетрясением 31.12.1982 г. с  $K=13.7$ . В конце декабря 1982 г. отмечается нарушение корреляции числа нуль-пересечений, что сказывается на графике корреляционной функции в таком же временном окне (рисунок 2, В). Для последующего нормирования и представления аномалий во всех анализируемых параметрах в одной полярности (положительной) при расчетах корреляционной функции в скользящем временном окне оси ординат проградуированы в значениях  $R_{zz}$  ( $R_{zz}=1-R_{xy}$ ). Аналогичная ситуация выявлена и перед Байсорунским землетрясением с  $K=14.6$  (12.11.1990), эпицентр которого располагался

на расстоянии 45 км от МВС Тургень. Для этого события длительность аномалии  $R_{zz}$ , его предвещающей, составила примерно 25 сут, а амплитуда почти вдвое больше предыдущей (рисунок 2, Г).

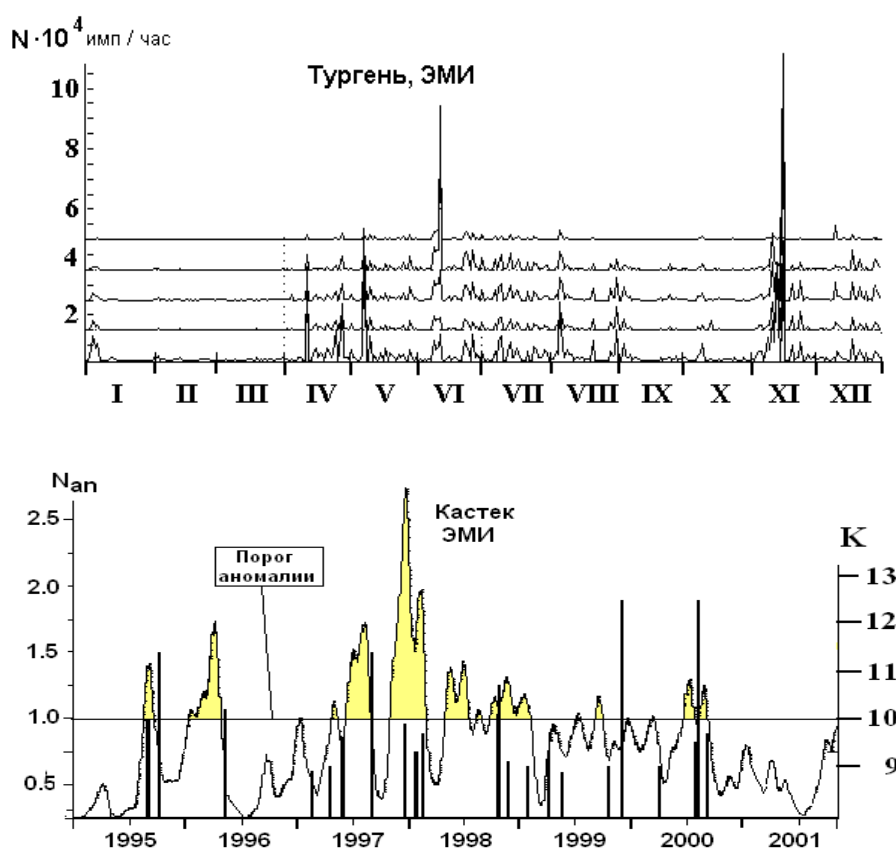
В результате проводимых на АПП режимных наблюдений за вариациями электромагнитных излучений (ЭМИ) – количеством импульсов и напряженностью поля ЭМИ достаточно кондиционные данные (без значительных перерывов, главным образом) накоплены с 1995 г., и хотя в это время в районе полигона сильных землетрясений не произошло. Задача выделения предвестникового сигнала в весьма сложном по характеру вариаций и разнородном на разных частотах регистрации поле ЭМИ (рисунок 3, А) остается актуальной и требует решения на принятых за основу в настоящее время принципах. Нами применен метод анализа данных регистрации ЭМИ, основанный на преобразовании исходных рядов количества импульсов  $N$  к

стационарному виду путем нелинейных преобразований – переходу от реальных отсчетов к расчету энергии в выбранном окне (оггибающей) 14-суточной волны. Такая обработка проводится для каждого измерительного диапазона, в результате суммирования это позволяет выделять краткосрочные аномальные эффекты. Наилучшим, как и для многих других параметров, оказался период, близкий к 14 суткам, что можно отнести к проявлению процесса модуляции тектоническими напряжениями ротационной волны. Наиболее сильно она проявляется на неоднородностях в земной коре (ЗК). Как показано на графиках, аномалии в поле ЭМИ проявляются, большей частью, перед землетрясениями с  $K > 10.6$  на расстояниях до 100 км. Полученные ряды характеризуются наличием фонового среднего и порогом аномалии в случае превышения выходным параметром выбранного доверительного интервала (фоновое среднее +  $2\sigma$  при доверительной вероятности  $P=0.9$ ).

Среднесуточные данные по станции Тургень (рисунок 3,А), имеющие спектральные пики на

периодах, близких к 28 и 14 сут., которые являются доминирующими в ротационном режиме Земли, после полосовой фильтрации и расчета энергии на периоде 14 сут. преобразуются во временные ряды оггибающей волны с периодом 14 сут., увеличение амплитуды которой во многих случаях предшествует близким, даже слабым землетрясениям. То есть наблюдается амплитудная модуляция меняющимися во времени напряжениями деформационной волны инерционной природы, вызывающей появление фильтрационных потенциалов в месте расположения приемных электродов.

В спектральном составе часовых значений поля электротеллурического поля (ЭТП) ярко выражены 12-часовая (в основном, приливной природы) и 8-часовая (атмосферного происхождения) волны. Модуляция приливной волны быстрыми деформациями в верхах ЗК приводит к появлению аномалий длительностью 1-2 сут. (рисунок 4), наиболее короткопериодных и возникающих непосредственно перед землетрясением.



Наблюдаемые значения ЭМИ на станции Тургень в 1995г. (А) и выделенные аномалии на станции Кастек (В)

Рис. 3. Временные ряды суточных значений количества импульсов ЭМИ на станциях полигона и краткосрочная аномальная 14-суточная компонента на станциях полигона

Как доказательство деформационной природы полученного прогностического параметра на рисунке 4 приведены среднемесячные значения энергии 14-суточной волны ЭТП  $E_{T=14}$  (кривая 1) и количества

землетрясений в месяц  $N$  (кривая 2). Коэффициент корреляции этих параметров достигает 0.7, что свидетельствует об отражении изменений сейсмического режима в поле ЭТП. Примеры выделения краткосроч-

ных модуляционных аномалий в поле часовых значений ЭТП перед близкими землетрясениями, полученные на станции Саты в 1997 г. приведены на рисунке 4 из которого видно, что полезный сигнал, замаскированный в шуме на исходной реализации (рисунок 4,А) имеет аномальные значения, большие по амплитуде перед землетрясениями 10-10.5 энергетического класса (рисунок 4,Б).

За период непрерывных длительных наблюдений за вариациями радоновых полей (1986-2009 гг.) на АПП и прилегающих территориях произошло более 20 землетрясений с  $K > 12.0$ , которые предварялись предвестниковыми аномалиями в вариациях радона подземных термальных вод. Эти аномалии проявлялись перед сильными землетрясениями, и имели различные формы, главным образом в виде бухт, горбов, пульсаций и импульсов различного знака и различной продолжительности развития во времени (часы, дни, недели и до нескольких месяцев). Отмечается их неоднородный характер проявления на площади и мерцание во времени, т.е. они неоднократно проявляются и исчезают при подготовке одного и того же землетрясения. Характерной особенностью аномалий радона является их проявление на значительных расстояниях (100-200 км и более) от эпицентра и быстрый возврат к исходному состоянию. Основные формы проявления аномалий радона можно аппроксимировать несколькими морфотипами: в виде ступенчатой бухты или полубухты с взрывным подъемом перед землетрясением, или в виде полочки. В ряде случаев отмечались их пульсационные изменения. Среди выявленных прогностических аномалий, было установлено, что среднесрочной информативностью обладает в условиях АПП радон ( $R_n$ ).

Как показали многочисленные экспериментальные работы, выделение радона из горного массива определяется его трещиноватостью и пористостью [3]. В период, когда возрастают силы сжатия, пути диффузии радона перекрываются, и его содержание в воде должно уменьшаться. Но когда напряжение превышает предел прочности горных пород, возникают трещины, породы разрушаются, что приводит к увеличению общей свободной площади

горных пород, с которой происходит переход радона в подземные воды. Следовательно, содержание радона в воде может заметно возрастать. При растяжении горных пород их проницаемость также увеличивается. Очевидно, в этом случае также можно ожидать увеличения содержания радона в воде. Таким образом, изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива должны сказываться на колебаниях объемной концентрации радона (ОКР) в омывающих этот массив подземных водах. Анализ ОКР в подземных водах показывает, что действительно этот параметр можно увязать с изменениями НДС горных пород.

Измерения количественного содержания радона в воздухе или в подземных водах можно производить по его альфа-излучению или использовать бета-излучение его продуктов распада. Для определения ОКР в подземных водах в наших исследованиях применялась установка промышленного производства типа "Радон". Для чего вода из скважины подавалась под давлением в особый сосуд, где она, фонтанируя, разбрызгивалась. При этом в воздух из воды выделялся содержащийся в ней радон. Далее воздух, содержащий радон, откачивался из сосуда в измерительную камеру, в которой находился сцинтилляционный детектор альфа-частиц. По скорости счета альфа-частиц можно было судить о величине ОКР в воде в данный момент времени. Измерительная установка "Радон" работала в непрерывном круглосуточном режиме, а отсчеты интенсивности альфа-излучения брались с дискретностью в один час.

На основе часовых замеров формировались временные ряды суточных значений ОКР, которые очищались от мешающего влияния атмосферного давления и температуры воздуха, с помощью специально разработанной программы. На рисунках 5 и 6 приводятся примеры, показывающие результат такой очистки. Затем временные ряды суточных значений ОКР подвергались анализу на предмет выделения аномальных вариаций, которые сопоставлялись с сейсмической активностью в радиусе до 200 км от места отбора проб воды.

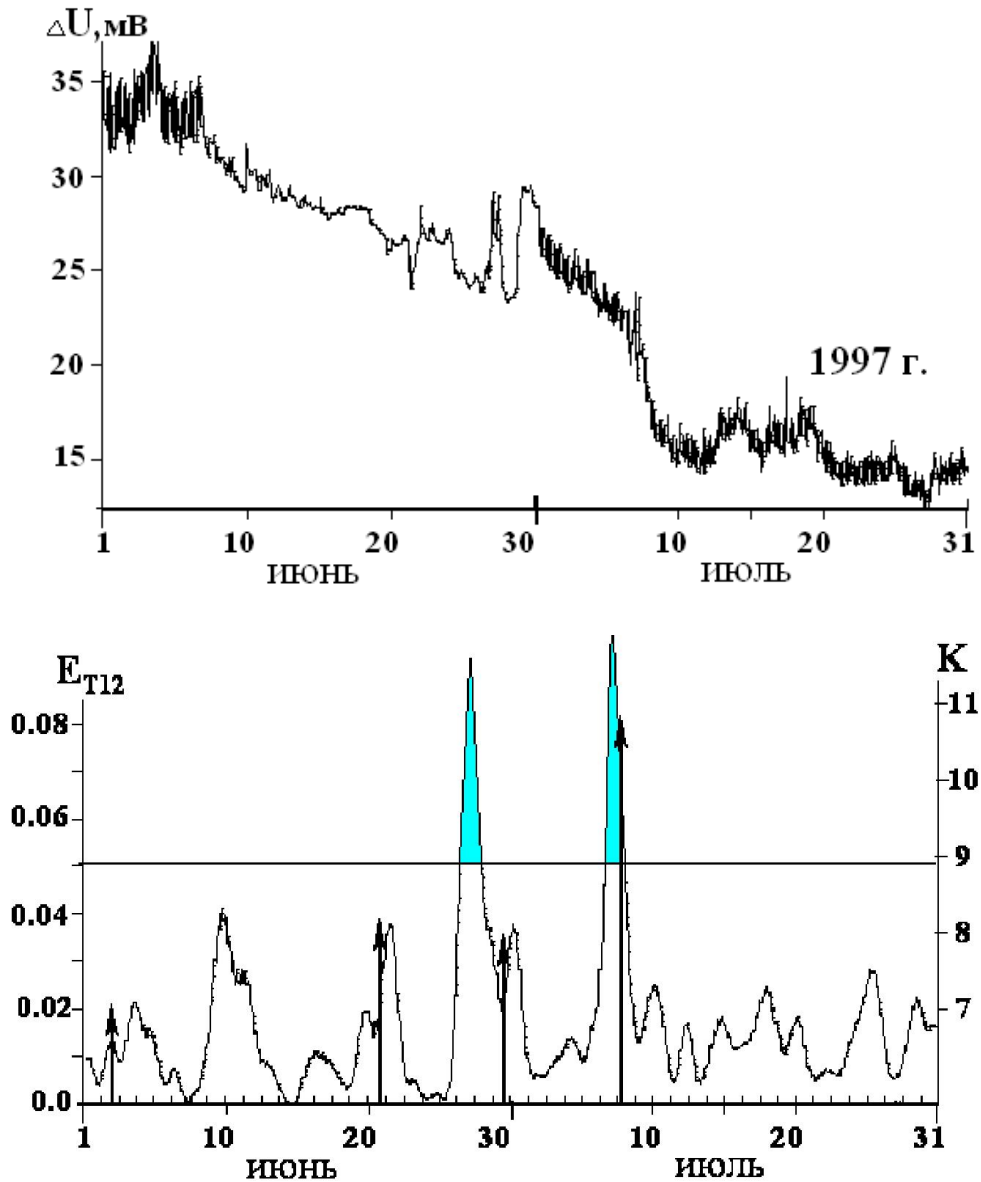


Рис. 4. Выделение краткосрочной аномальной компоненты в ЭТП  $E_{T12}$  по часовым данным на станции Саты  
 А – Часовые значения разности потенциалов ЭТП  
 Б – Аномалия в 12-часовой приливной компоненты  $E_{T12}$

В результирующей части программы в ряду конечных аномалий хорошо видны периоды сейсмической активации в Северо-Тянь-Шаньском сейсмогене. На рисунке 7 представлены синхронные проявления радоновых аномалий в подземных водах ряда скважин АПП в связи с ожидаемым сейсмическим событием.

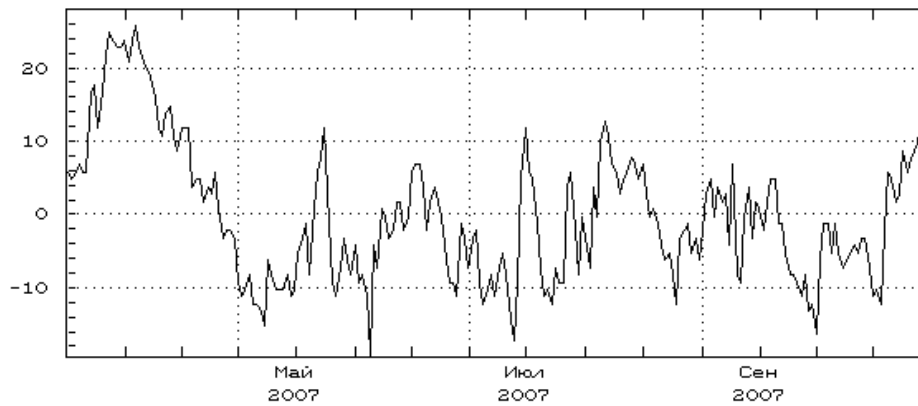


Рис. 5. Временной ряд вариаций ОКР в подземной воде ст. Горельник

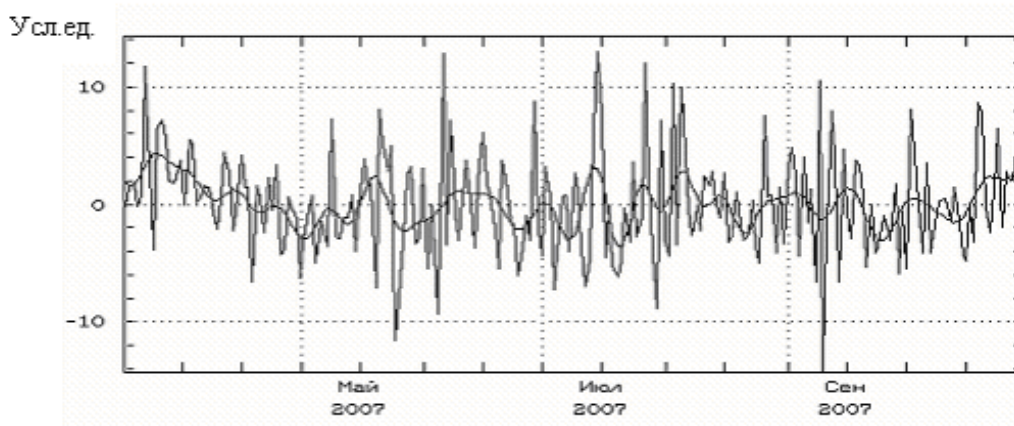


Рис. 6. Временные ряды вариаций ОКР в подземной воде ст. Горельник, очищенные от влияния атмосферного давления и температуры воздуха (исходный и сглаженный)

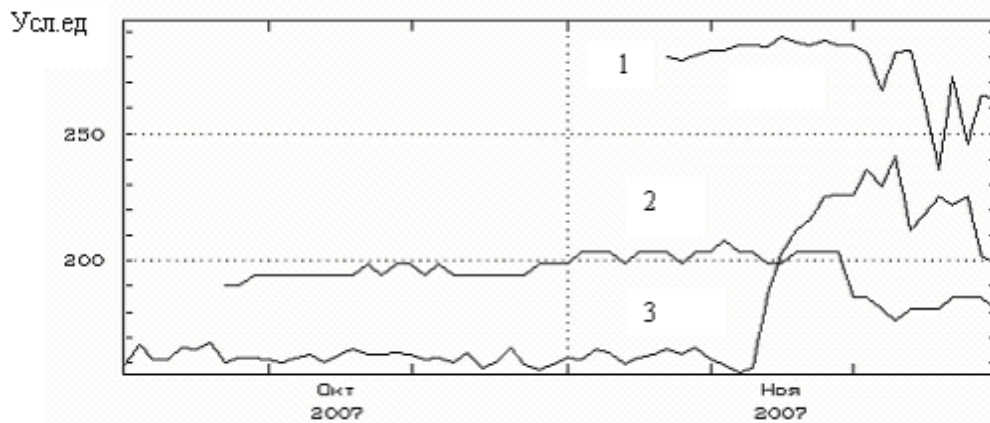


Рис. 7. Пример аномальных вариаций ОКР в подземной воде ст. Калкан (1), ст. Тау-Тургень (2) и ст. Нижняя-Каменка (3) в связи с предполагаемым сейсмическим событием

В результате длительных систематических режимных наблюдений за вариацией геофизических полей и радона во многих регионах, в том числе и на Алматинском прогностическом полигоне, отмечались многочисленные аномалии, предшествовавшие сильным землетрясениям на различных

удалениях (10 – 500км.) от их эпицентров. С привлечением материалов специалистов из Республики Кыргызстан и

Китайской Народной Республики (КНР) по Северному Тянь-Шаню нами было показано, что такие предвестниковые аномалии имеют ряд феноменологических свойств – дальное действие, мозаичность и крайне нестабильное развитие во времени. Механизм их образования представляет собой сложное сочетание многочисленных факторов, часть которых рассмотрена в настоящей работе.

**Литература:**

1. Курсеев А.К. Проблемы прогнозирования землетрясений. Алма-Ата, Наука, 1990.264 с.
2. Белослюдцев О.М. Особенности тонкой структуры вариаций геофизических полей в связи с прогнозом землетрясений в Северном Тянь-Шане. Диссертация к.ф.-м.н., Алматы, 2004 г.
3. Курсеев А.К., Белослюдцев О.М. Вариации электротеллурического поля в Кунгей-Заилийской сейсмогенной мегазоне и их связь с землетрясениями. //Прогноз землетрясений». Душанбе-Москва: Дониш. 1986, №7, с,129-137.
4. Белослюдцев О.М. Методика выделения предвестников землетрясений в вариациях геомагнитного поля. //Теория и практика прогноза землетрясений на территории Тянь-Шаня». (тез. Докл. 3-го Каз.-Кит. Симп. 10-14 сент. 1996 г. Алматы, 1996, с. 41-42.

**Рецензент: к.г.-м.н. Омуралиев М.**

---