Institute of Geophysics
UB RAS, Yekaterinburg,
Russia

г.

ОТРАЖЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В РАДОНОВОМ И ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЯХ В ЗОНАХ РАСТЯЖЕНИЯ И СЖАТИЯ

А.К. Юрков, И.А. Козлова, С.В. Бирюлин

ФБГУН Институт геофизики им.Ю.П.Булашевича Уральского отделения Российской академии наук, г.Екатеринбург, Россия

- Землетрясение не является внезапным событием, а готовится продолжительное время, поэтому существует принципиальная возможность его предсказания
- Процесс подготовки связан с изменением геодинамического состояния геологической среды и раскрывает себя в различных физических явлениях, которые в ряде случаев можно считать предвестниками
- Создано достаточно большое количество физико-математических моделей подготовки землетрясений, в которых оценены радиус распространения «предвестникового» явления, продолжительность его проявления, связь с энергией готовящегося события
- **На наш взгляд, модель Добровольского И.П., подтверждённая экспериментальными данными достаточно адекватно описывают процесс деформационных изменений при подготовке тектонического события и их отражение в гидрогеологических факторах. Поэтому при анализе экспериментальных данных температурного и радонового мониторинга использовались теоретические оценки, полученные в работах Добровольского**

- Изменения в структуре порового пространства должны отражаться в вариациях состава подземной газовой атмосферы и гидросферы. В качестве индикатора изменений состава подземной атмосферы наиболее удобно использовать радон, который достаточно широко используется для прогностических целей во всем мире. Измерение температуры воды по стволу скважин позволяет проследите ее движение. Что дает больше информации об изменении геодинамической обстановки, чем при измерениях вариаций только уровня.
- Так как изменения структуры порового пространства определяются деформационными изменениями геологической среды, то при анализе данных радонового мониторинга также использовались теоретические оценки Добровольского И.П.
- Реакция радона, как и всех физических явлений, связанных с изменениями структуры порового пространства, зависит от расстояния до эпицентра и магнитуды события. Если для изменений уровня столба жидкости и температуры по скважинам, рядом авторов были исследованы зависимости их отражения от расстояния и магнитуды события, то для радона сравнительно мало работ, в которых бы исследовалась такая зависимость

- На сегодняшний день создано 3 полигона, на которых ведётся непрерывный мониторинг температуры воды в скважинах и объёмной активности радона
- **Выполнен анализ зависимости проявления в вариациях ОАР сейсмических событий по наблюдениям на станциях Южно-Курильск и Курильск (Южно-Курильский геодинамический полигон), на станциях Владикавказ и Кармадон (Северо-Кавказский полигон) и на станциях Коуровка и Катав-Ивановск (Средне-Уральский полигон)**
- **Статистически значимый анализ данных радонового мониторинга проведен только для Южно-Курильского полигона, на котором получены практически непрерывные ряды наблюдения, начиная с 2007 года**
- Для Средне-Уральского полигона сопоставительный анализ не корректен из-за малого количества произошедших сейсмических событий , хотя период наблюдений более 10 лет
- Северо-Кавказский полигон, оборудованный 2 станциями, работает только 1,5 года. Накопленной информации еще недостаточно для выявления каких - либо закономерностей.
- **Поэтому основные закономерности для радона получены для условий Южно-Курильского полигона. Количество анализируемых зарегистрированных сейсмических событий зависит от радиуса охвата относительно станции наблюдения. В нашем случае он выбирался, исходя из теоретических расчетов проявления деформаций по модели Добровольского И.П. Принимая во внимание, что за период с 2011 года максимальная магнитуда происходивших сейсмических событий не превышала 7, радиус охвата событий был взят равным 500 километров**

Расположение станций радонового и температурного мониторинга на островах Южно-Курильской гряды

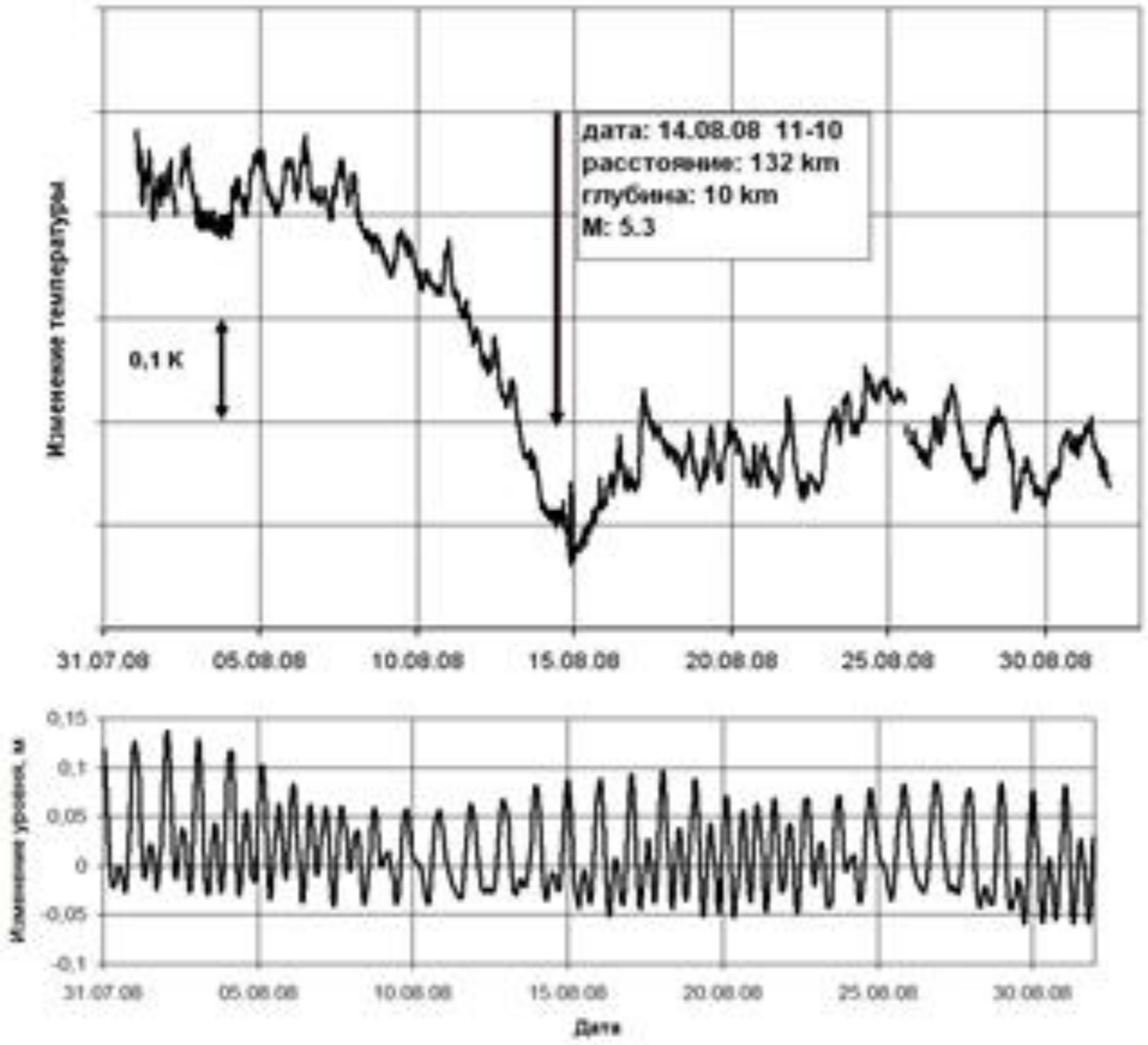


Рис. 5. Изменение температуры на глубине 240 м и уровня столба жидкости в скважине К-1 в августе 2008

Результаты измерения температуры и уровня столба жидкости аппаратурой «Радиус-М», подтверждают выдвинутый ранее тезис о большей информативности температурных измерений для изучения изменений гидрогеодинамического поля.

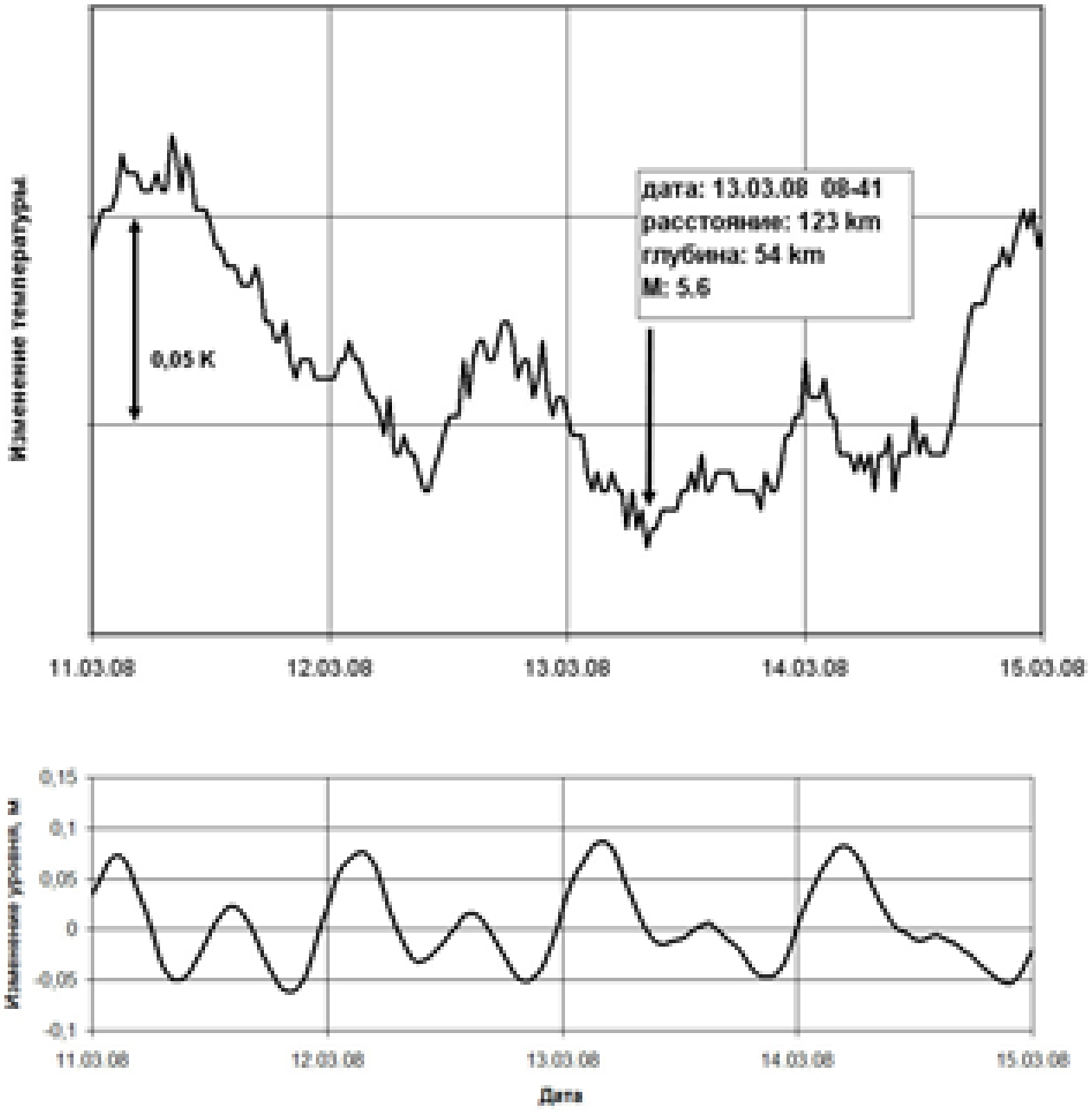
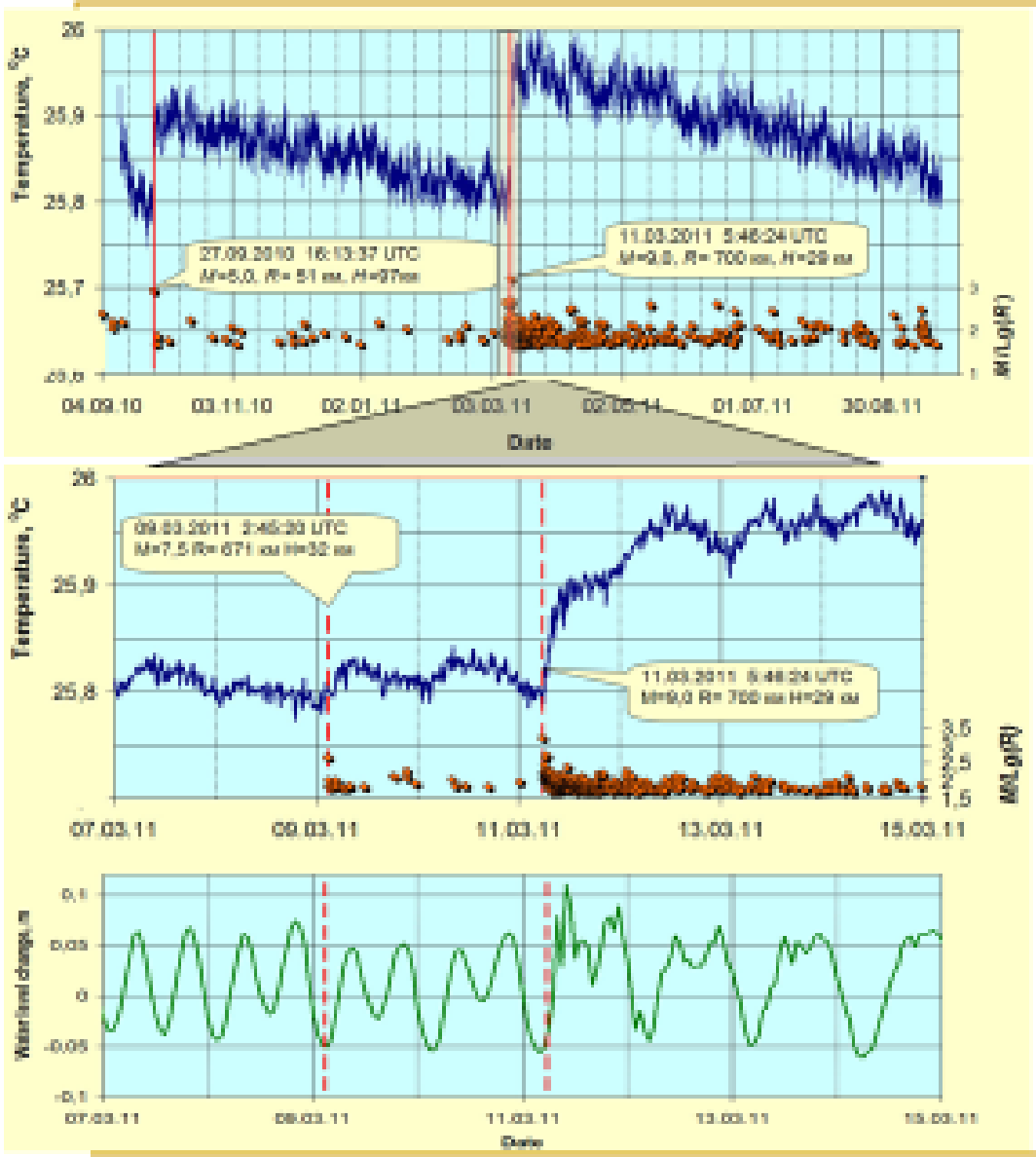
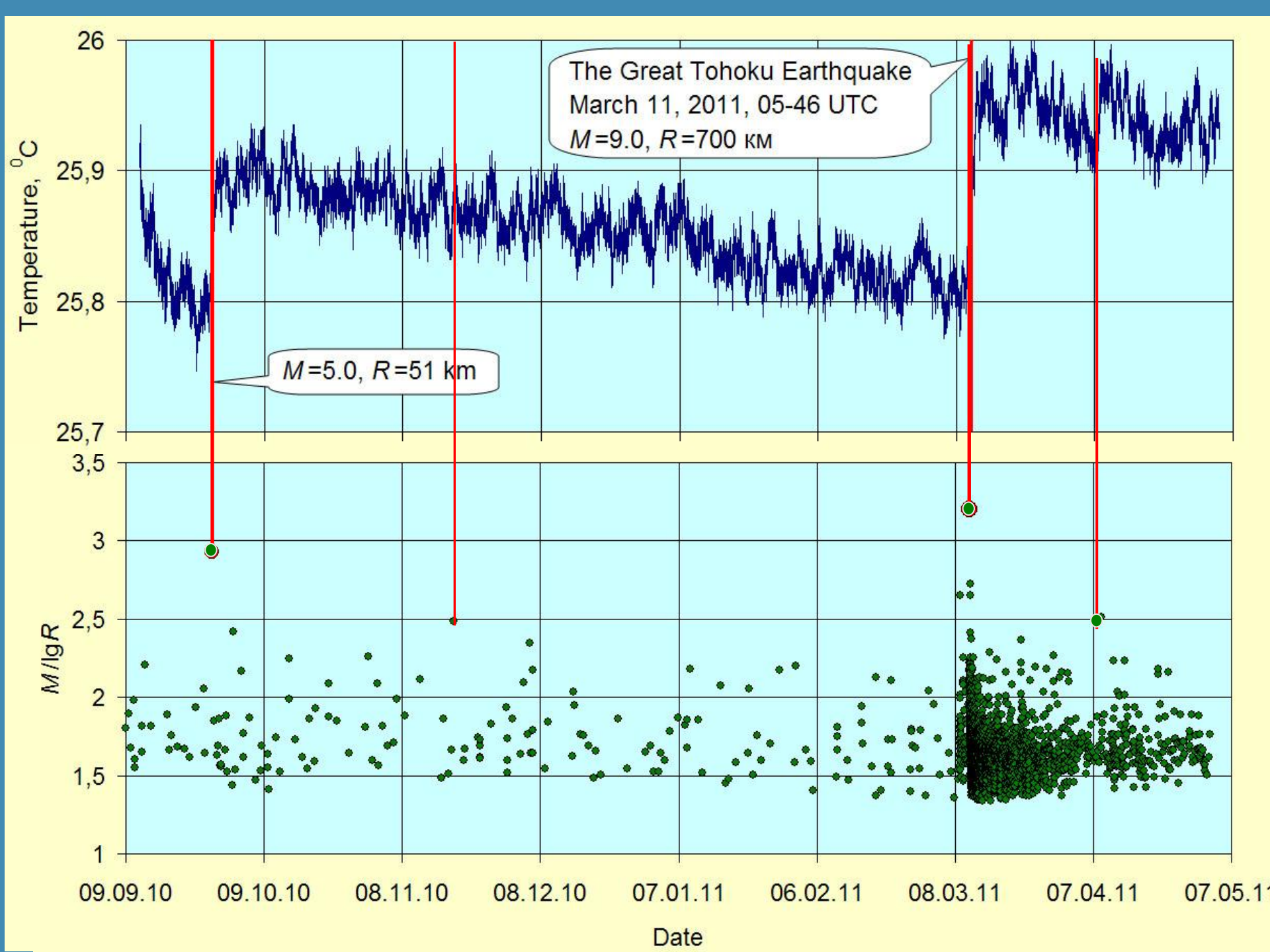


Рис. 4. Изменение температуры на глубине 240 м и уровня столба жидкости в скважине К-1 в марте 2008 г



Температурные вариации на глубине 240 м и колебания уровня воды в скважине kun-1 до и после землетрясения Тохоку

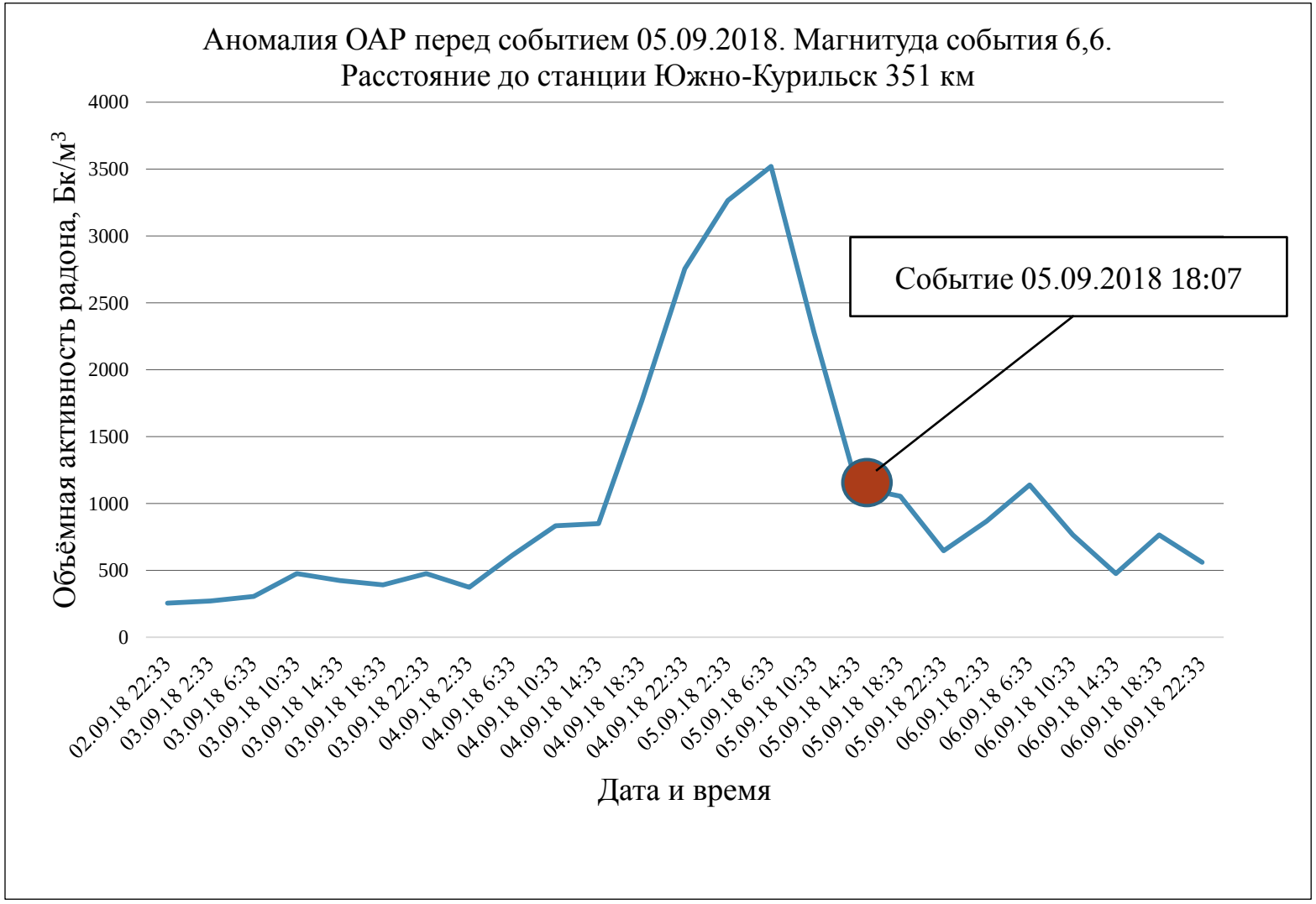

The Great Tohoku Earthquake
March 11, 2011, 05-46 UTC
M=9.0, R=700 км
M=5.0, R=51 km
Temperature, °C
26
25,9
25,8
25,7
M/lgR
3,5
3
2,5
2
1,5
1
09.09.10
09.10.10
08.11.10
08.12.10
07.01.11
06.02.11
08.03.11
07.04.11
07.05.11
Date

- Изменения объемной активности радона фиксировались на двух независимых друг от друга станциях, первая в Южно-Курильске (о. Кунашир), вторая в Курильске (о. Итуруп)
- Принцип выделения аномалий ОАР на Южно-Курильском полигоне: в качестве аномалии на кривой ОАР рассматривался участок, на котором не менее трёх значений как минимум в два раза превышали фоновый уровень во время повышения объемной активности радона
- Всего было выделено 600 аномалий. Процент ложных аномалий, не связанных с проявлением процесса подготовки тектонического землетрясения при регистрации существующей сетью на Южно-Курильском полигоне не превысил 28%
- Исходные данные также представлены в виде двух каталогов сейсмических событий с магнитудой более 4,0 за период с 30.09.2011 по 18.10.2018 в радиусе 500 километров от каждой из станций мониторинга ОАР

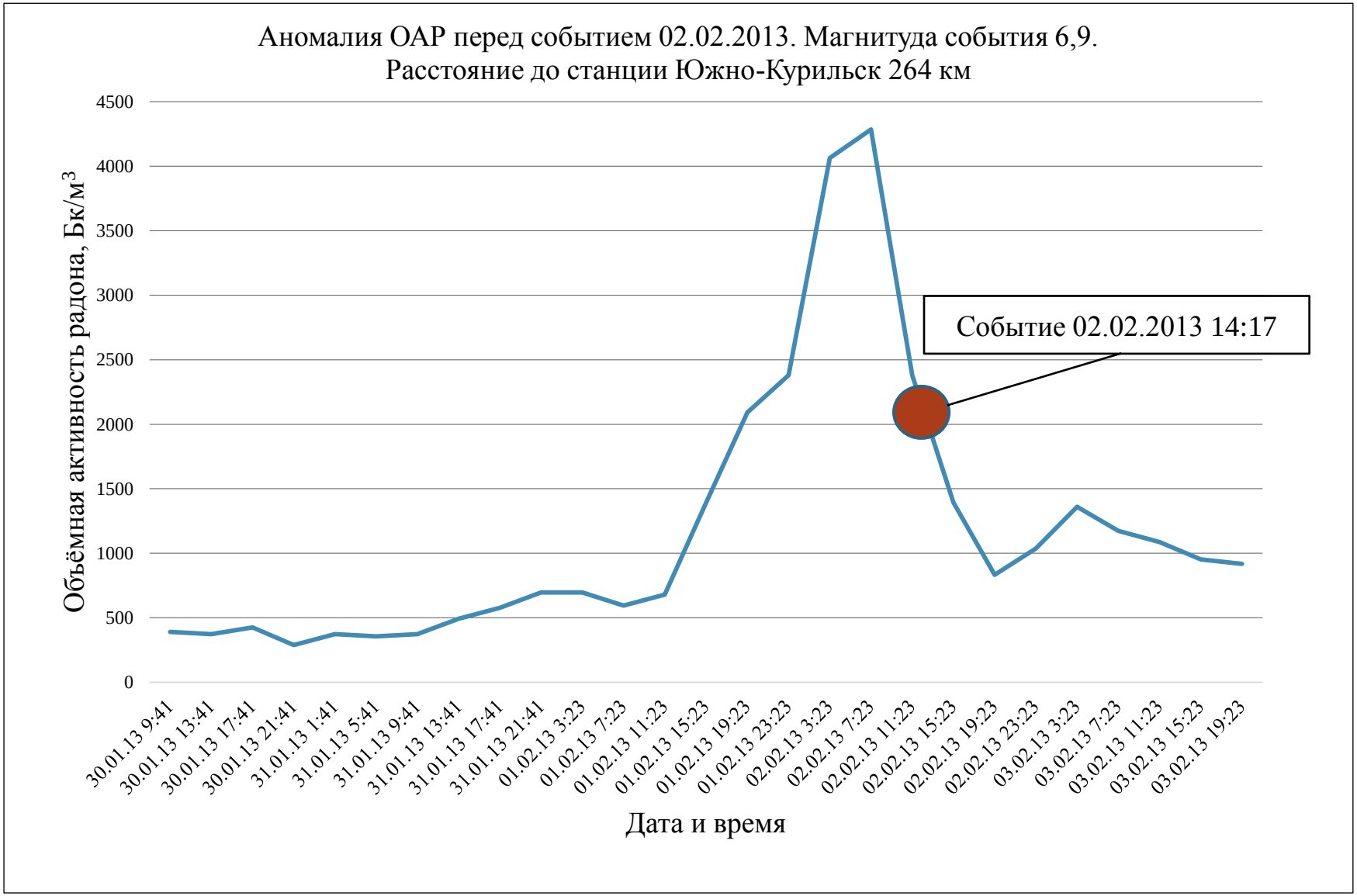
- К настоящему времени нет определенной ясности относительно времени проявления вариаций ОАР перед тектоническим событием и положения произошедшего землетрясения на кривой ОАР в зависимости от расстояния до эпицентра
- Определение положения землетрясения на кривой ОАР позволит разделить события на «ближние» и «дальние» по аналогии с горными ударами, что важно при принятии решений по предупредительным мерам от возможных землетрясений
- Так как события, произошедшие в «ближней» зоне, представляют наибольшую опасность для населения, то необходимо оценить промежуток времени от экстремума и времени выхода на фоновые значения до момента сейсмического события

- Для кривых ОАР было выполнено определение продолжительности аномалии, времени от начала аномалии до тектонического события, от экстремума до события и время от конца аномалии до события
- Последняя величина является важной в плане определения «ближней» и «дальней» зон сейсмического события. Она определяет границу «ближней» зоны, где возможны серьезные последствия от разрушений
- На основе полученных данных был определен «статус» вариаций ОАР как среднесрочного или краткосрочного предвестника землетрясений

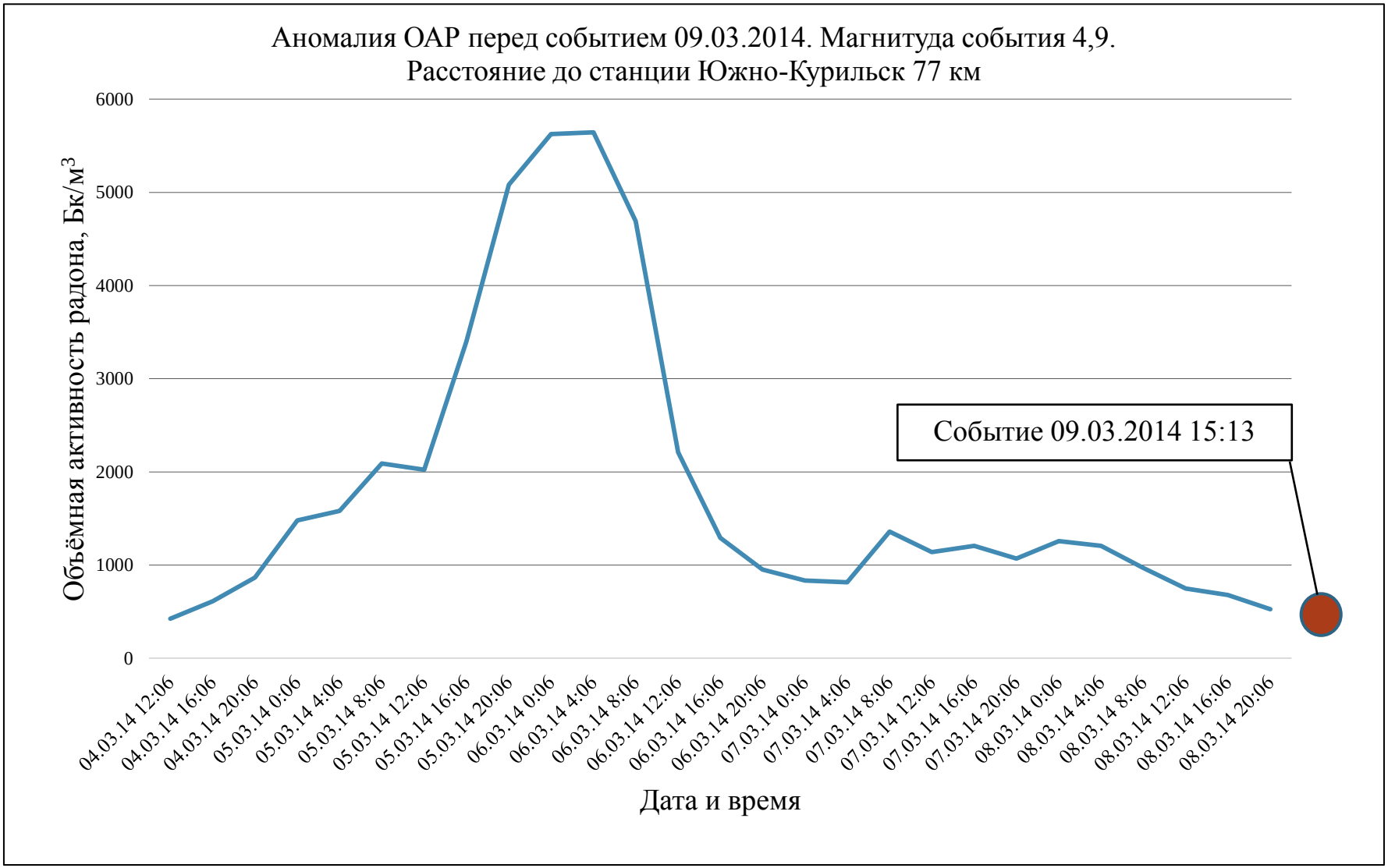
Пример аномалии, отразившей далекое событие, т.е. относительно которого радоновая станция находится в «дальней» зоне



Пример отражения события «дальней» зоны



Пример отражения события «ближней» зоны



Определение времени начала проявления «предвестниковой» аномалии

- По времени начала проявления аномалии ОАР возможно определить «предвестниковый» класс радоновых аномалий
- **Анализировались события, удовлетворяющих** отношению магнитуды к логарифму расстояния больше, либо равному **2,5.** Для 28% выбранных событий характерно проявление через 1-2 суток после начала аномалии
- Для 31% событий аналогичный временной интервал составил 2-3 суток. Для 18% 3-4 суток. То есть **для 77% рассматриваемый интервал укладывается в пределы 4 суток. При этом интервал, с учётом всех событий не превышает 8 суток**
- Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что аномалии ОАР могут рассматриваться, как краткосрочный предвестник сейсмического события

Продолжительность аномалии

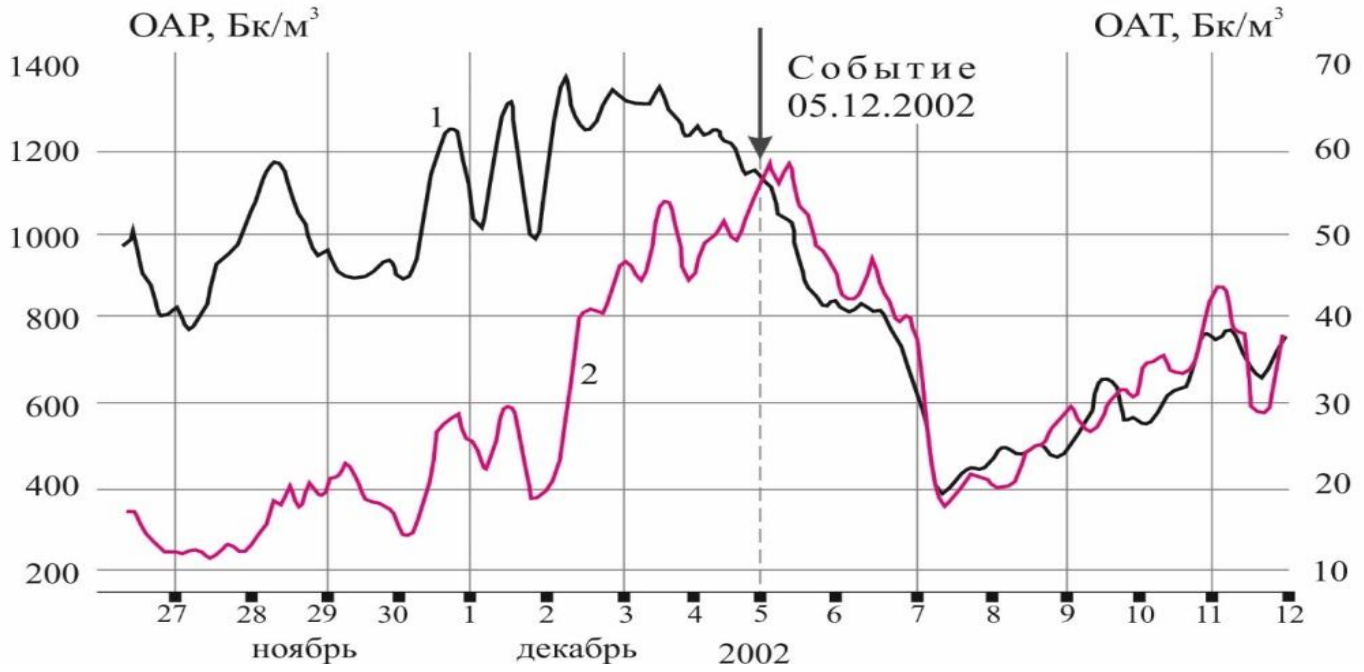
- Ещё одним важным показателем, которому уделяется внимание в данной работе является продолжительность выделенных аномалий объёмной активности радона, которая считалась от начала аномалии до ее завершения
- Для 49% всех аномалий рассматриваемый интервал 1-2 суток, 31% в интервале 2-3 суток, 7% 3-4 суток. То есть **87% всех рассмотренных событий аномалии длятся не более 4 суток. При этом для всех аномалий интервал не превышает 6 суток.**
- Т.е. и по продолжительности аномалий, вариации ОАР можно рассматривать, как краткосрочный предвестник землетрясения

Определение положения проявления сейсмического события на кривой ОАР

- Общей закономерностью проявления сейсмического события на кривой ОАР является связь с нисходящей ветвью аномалии, при использовании метода вынужденной конвекции для измерений
- Сейсмические события происходят, начиная с точки экстремума кривой ОАР, на нисходящей части кривой и далее на выходе аномалии на фоновые значения
- В большинстве случаев нисходящая ветвь аномалии совпадает с кривой распада радона. Что свидетельствует о прекращении поступления регистрируемого (дополнительного) радона в поровое пространство

Определение эффективности отражения событий в изменениях ОАР для землетрясений с соотношением магнитуды к логарифму расстояния больше 2,5

- Общее количество сейсмических событий с вычисленным отношением магнитуды к логарифму расстояния более, либо равным двум с половиной составило 74. Среди них оказалось 39 землетрясений (52,7%), которым в соответствие поставлено аномальное изменение ОАР, предшествовавшее событию
- **Несовпадение процента аномалий ОАР**, удовлетворяющих отношению магнитуды к логарифму расстояния больше 2,5 (52,7%), т.е. **в рамках деформационной модели и процента всех аномалий ОАР**, связанных с сейсмическими событиями любой магнитуды произошедших в радиусе 500 километров от станций (72%) **говорит о том, что мы имеем дело с проявлением разных механизмов образования аномалий ОАР**
- Но так как критерий 2,5 (отношения магнитуды события к логарифму расстояний $\geqslant 2{,}5$) выполняется для различных прогностических методов (уровень, температура) и хорошо себя зарекомендовал, то при обработке результатов мониторинга мы анализировали кривые ОАР, связанные с землетрясениями, удовлетворяющими этому критерию



Фрагмент записи объемной активности радона (ОАР) и торона (ОАТ) на станции Ала-Арча с 27.11. по 12.12. 2002 года

На рис. 3 приведен фрагмент записи объемной активности радона и торона на станции Ала-Арча перед событием 04.12.2002г [3]. Геодинамическая схема движения блоков земной коры для Северного Тянь-Шаня также предполагает надвиг современного орогена на Казахстанскую плиту. Полученный характер изменения ОАР похож на отражение процесса подготовки сейсмических событий при деформациях изгиба в условиях надвига или подвига, который характерен для островных дуг и для Японии. Величина отношения магнитуды к логарифму расстояний до очага для события 04.12.2002 года равна 2,4, что практически укладывается в критерий 2,5.

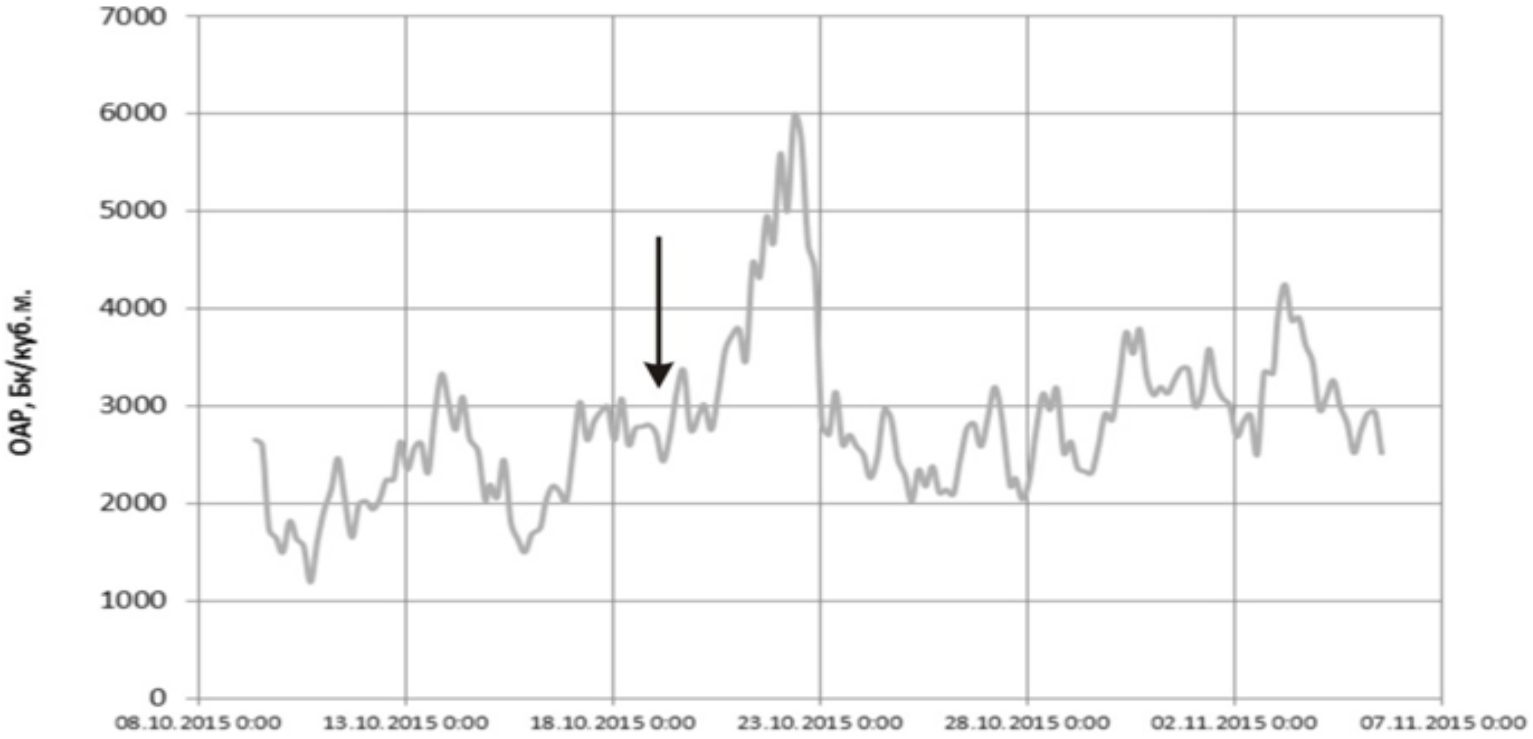


Рис.4. Изменение объемной активности почвенного радона на обсерватории Коуровка с 08.10.2015 г. по 07.11.2015 г.

Особенностью отражения этого события в изменениях ОАР было то, что оно проявилось спустя двух суток после события. Также отличительной чертой этого события можно считать отсутствие афтершоковой активности. Такое поведение характерно для изменения ОАР при проведении карьерных взрывов. Является ли это особенностью подготовки событий на Урале или же природа данного события не связана с деформациями изгиба.

Десять лет назад

Август 2009 года

Напомню читателям нашей газеты, что тогда почти месяц жители разъезда, который находится всего в пяти километрах от Усть-Катава, стали свидетелями загадочного явления. В доме № 27 по улице Первомайской «забил» родник, температура воды которого в настоящее время быстро перешагнула отметку в 50 градусов Цельсия, а затем поднялась еще выше.

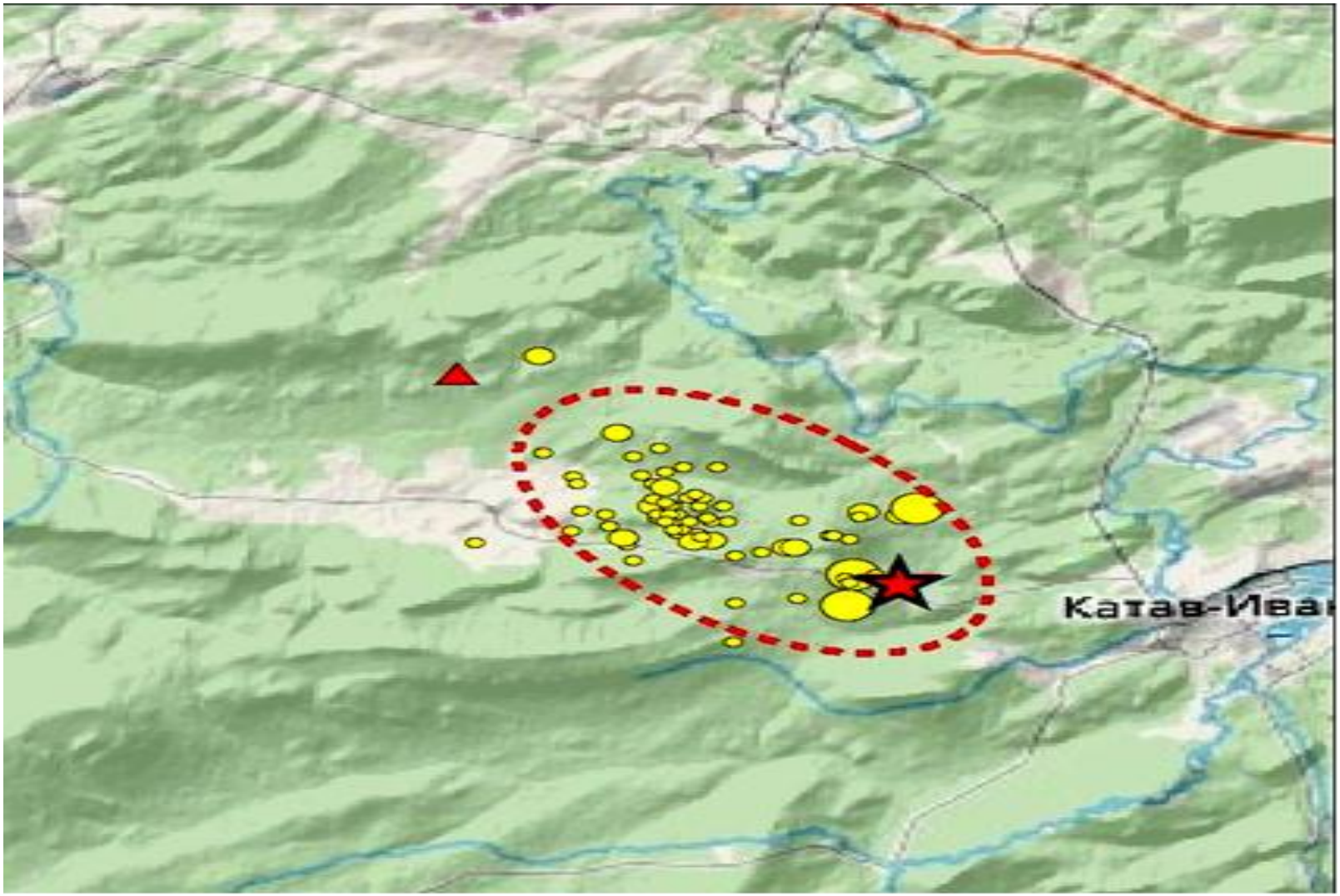
Заинтригованные, мы, конечно, тотчас отправились в разъезд, чтобы на месте убедиться в правдивости сообщения. Хозяйка дома, Валентина Веракса, провела нас на кухню своего дома. Именно здесь, в подполе, и находился источник горячей воды. Как объяснила Валентина Сергеевна, кипяток стал поступать в дом из старой скважины питьевой воды, которую вырыли под домом.

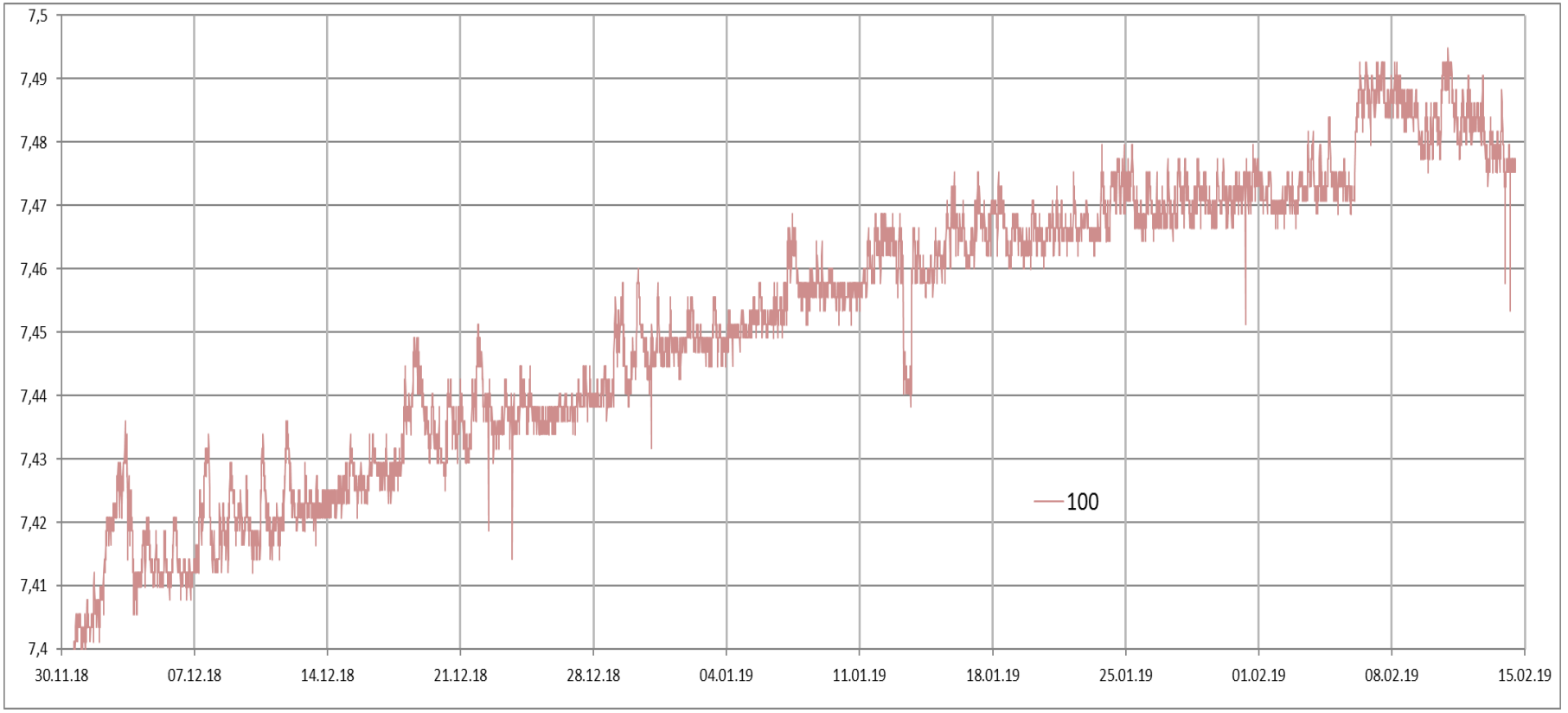
- На свою кухню я теперь без градусника не захожу, руки боюсь обжечь, накачивая ручным насосом воду в ведро, - объяснила она, доставая из кармана прибор для измерения температуры. А затем рассказала предысторию загадочного явления.

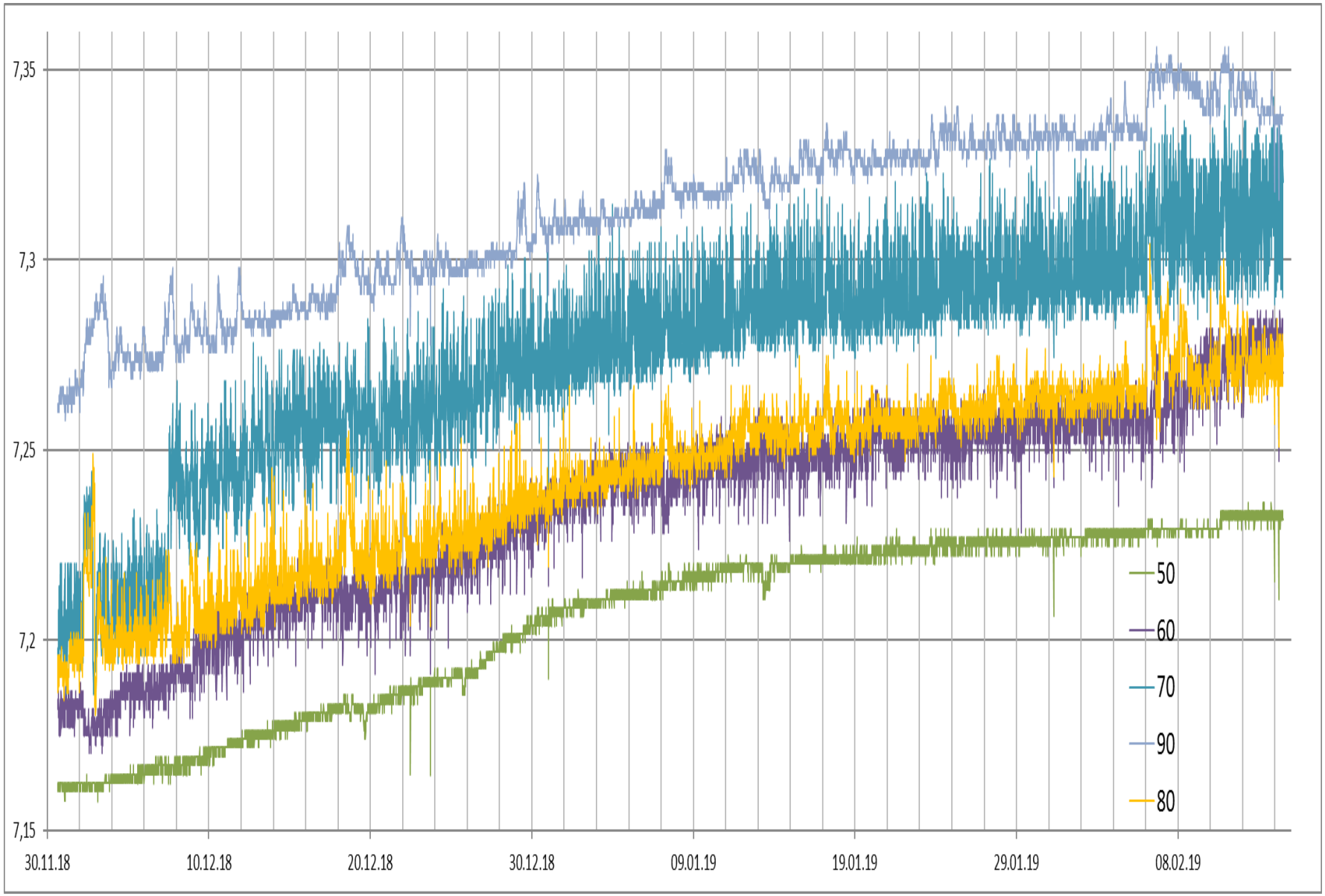
- Я сама из Юрюзани, еще в школе училась, когда родители сюда переехали. Дом построили. А двадцать пять лет назад в подполе пробили скважину. Воду качаем прямо на кухню. Удобно: на колонку идти не надо.

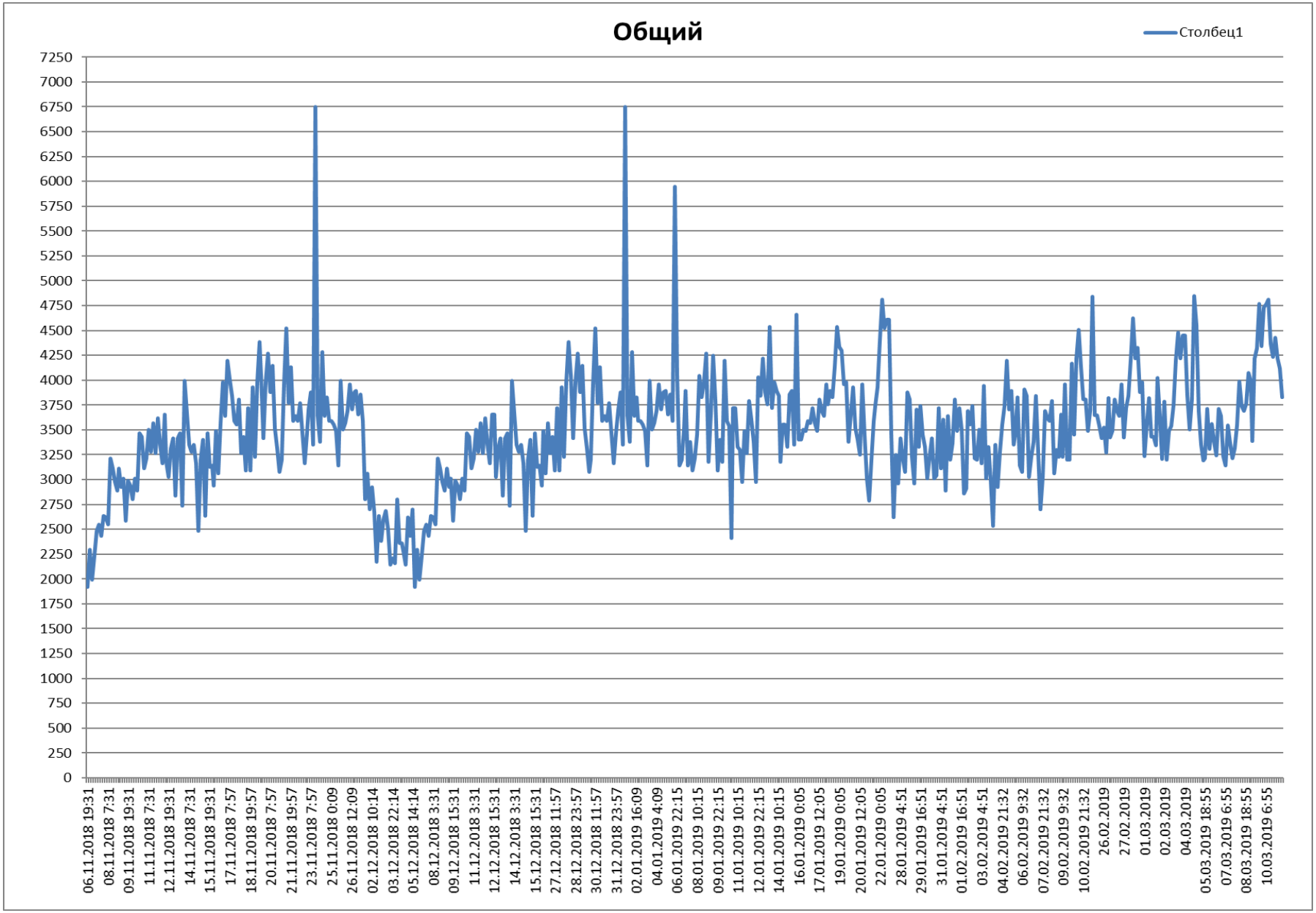
Вода в скважине, по словам женщине, которой тогда исполнилось 75 лет, всегда была обыкновенной, как у всех соседей, как в доме у сына Юрия, живущего метрах в десяти напротив. Но в один из дней 2009 года Валентине Сергеевне показалось, что она стала теплее. Не доверяя себе, она позвала сына, и тот подтвердил – действительно, теплее. Сомнения в том, что происходит что-то необычное, рассеялись буквально через несколько дней, когда температура воды достигла сорока семи градусов.

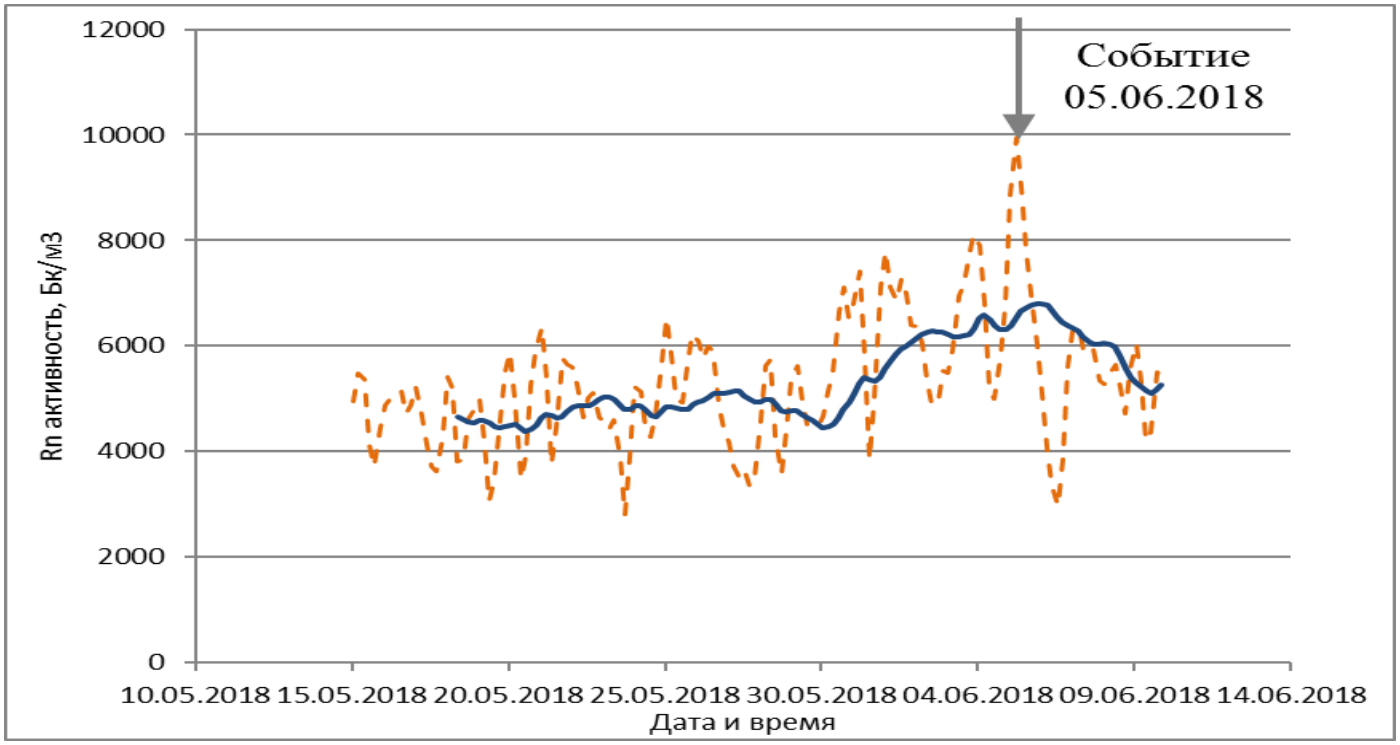
- Она повышается с каждым днем, - подтвердил пришедший Юрий Веракса. - Смотрите, - он опустил градусник в ведро, - уже больше пятидесяти. На его лице –появилось удивление, но не только. Видно было, что сына беспокоит происходящее.


Катав-Ива


7,5
7,49
7,48
7,47
7,46
7,45
7,44
7,43
7,42
7,41
7,4
30.11.18
07.12.18
14.12.18
21.12.18
28.12.18
04.01.19
11.01.19
18.01.19
25.01.19
01.02.19
08.02.19
15.02.19
100

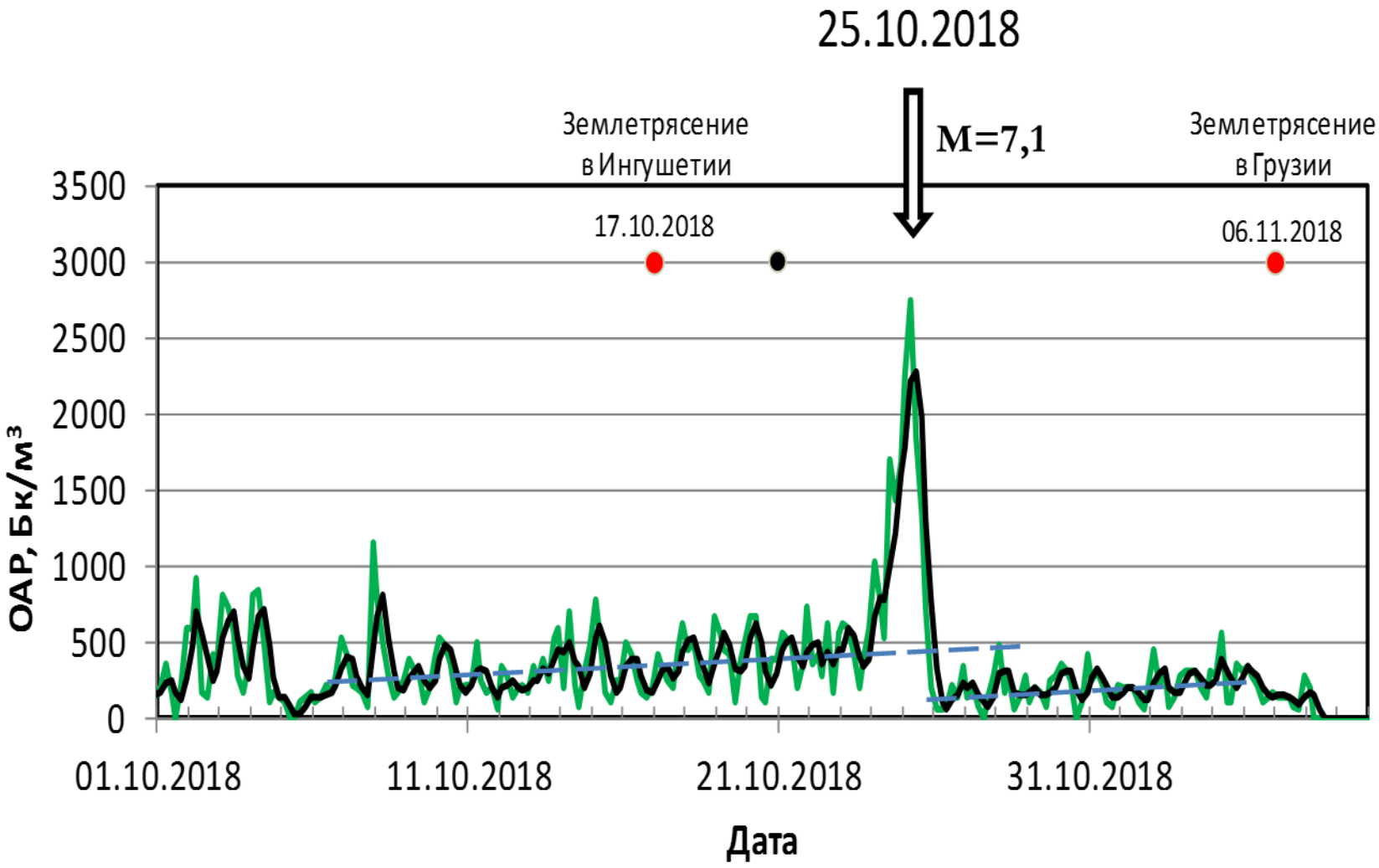

7,35
7,3
7,25
7,2
7,15
30.11.18
10.12.18
20.12.18
30.12.18
09.01.19
19.01.19
29.01.19
08.02.19
50
60
70
90
80


Общий
Столбец1
7250
7000
6750
6500
6250
6000
5750
5500
5250
5000
4750
4500
4250
4000
3750
3500
3250
3000
2750
2500
2250
2000
1750
1500
1250
1000
750
500
250
0
06.11.2018 19:31
08.11.2018 7:31
09.11.2018 19:31
11.11.2018 7:31
12.11.2018 19:31
14.11.2018 7:31
15.11.2018 19:31
17.11.2018 7:57
18.11.2018 19:57
20.11.2018 7:57
21.11.2018 19:57
23.11.2018 7:57
25.11.2018 0:09
26.11.2018 12:09
02.12.2018 10:14
03.12.2018 22:14
05.12.2018 14:14
08.12.2018 3:31
09.12.2018 15:31
11.12.2018 3:31
12.12.2018 15:31
14.12.2018 3:31
15.12.2018 15:31
27.12.2018 11:57
28.12.2018 23:57
30.12.2018 11:57
31.12.2018 23:57
02.01.2019 16:09
04.01.2019 4:09
06.01.2019 22:15
08.01.2019 10:15
09.01.2019 22:15
11.01.2019 10:15
12.01.2019 22:15
14.01.2019 10:15
16.01.2019 0:05
17.01.2019 12:05
19.01.2019 0:05
20.01.2019 12:05
22.01.2019 0:05
28.01.2019 4:51
29.01.2019 16:51
31.01.2019 4:51
01.02.2019 16:51
03.02.2019 4:51
04.02.2019 21:32
06.02.2019 9:32
07.02.2019 21:32
09.02.2019 9:32
10.02.2019 21:32
26.02.2019
27.02.2019
01.03.2019
02.03.2019
04.03.2019
05.03.2019 18:55
07.03.2019 6:55
08.03.2019 18:55
10.03.2019 6:55

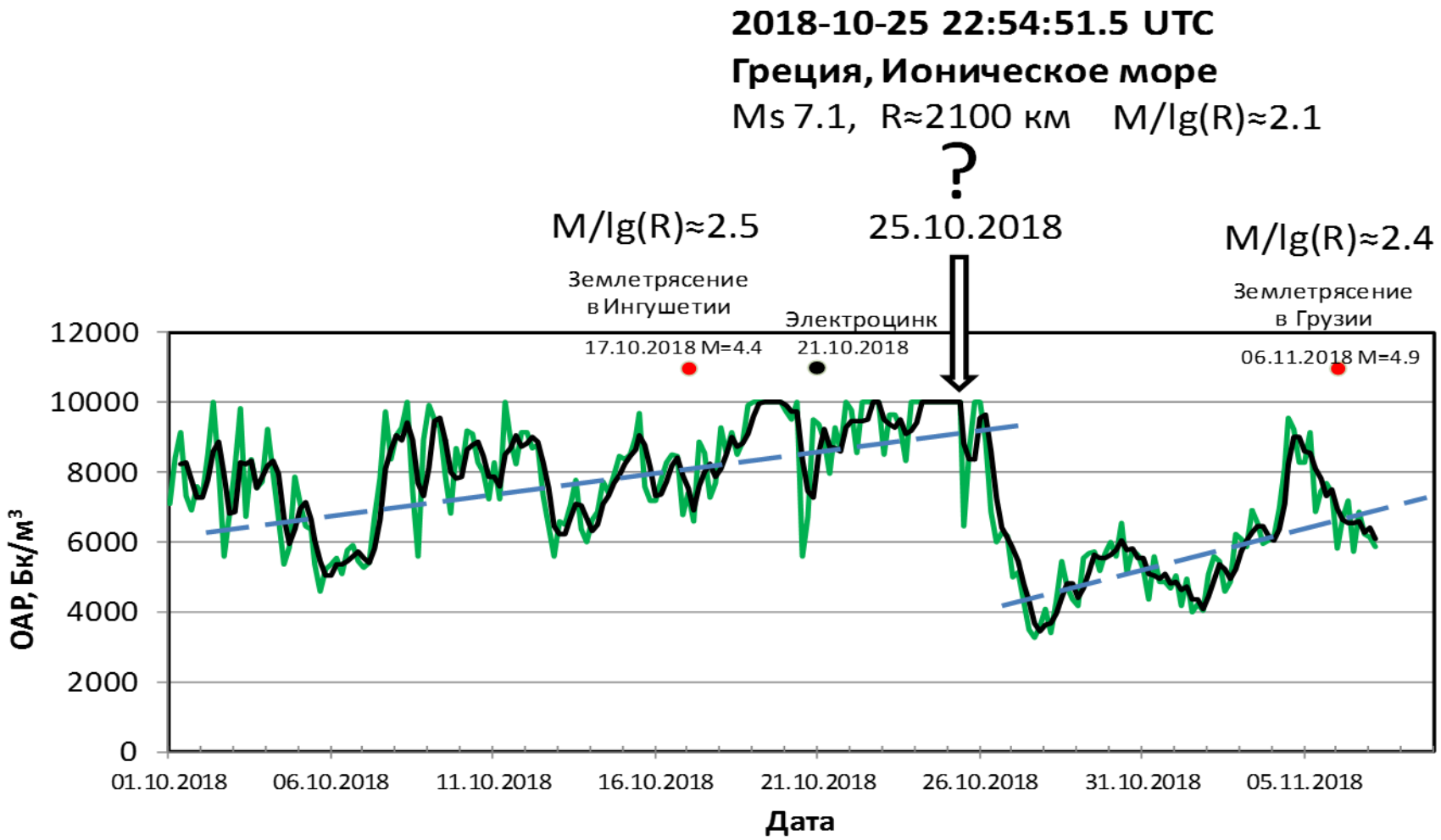


Можно предположить, что на Северном Кавказа также существуют условия горизонтального перемещения блоков земной коры и возникают деформации изгиба. С точки зрения применимости критерия 2,5 проанализируем полученные ряды ОАР. На рис. 4 приведены фрагменты записи ОАР из почти 11 месячного периода наблюдений на установленной в конце 2017 года в г. Владикавказ, радоновой станции. Это периоды с 19.12.2017 по 09.01.2018; и с 05.05 по 09.06.2018. На полученной кривой изменения ОАР (рис.4) отчетливо выделяется процесс подготовки события 05.06.2018 в Азербайджане с магнитудой 5,3 и на расстоянии около 180 км от Владикавказа. Рассчитанное отношение магнитуды к логарифму расстояния равно 2.4, что позволяет говорить о применимости критерия 2,5 и для территории Северного Кавказа.

Греция, Ионическое море ?



Станция Кармадон, Северная Осетия



Запись объемной активности радона на станции Владикавказ
С 01.10.2018 по 09.11.2018

- На Средне-Уральском полигоне за весь период наблюдений ОАР произошло только 2 землетрясения 19.10.2015 года в районе поселка Битимка и 5 сентября 2018 года в районе города Катав-Ивановск.
- Отражение первого события в кривой изменения ОАР обладало особенностью, которая свидетельствовала о том, что это землетрясение имеет другую природу. Аномалия ОАР появилась через 2 суток после события, что обычно характерно для карьерных взрывов
- Для Катав-Ивановского землетрясения измерения ОАР были организованы спустя более чем месяц после события. Т.е. фиксировались только афтершоковая активность, отражение которой в кривых ОАР отличается от процесса подготовки основного события
- Анализ рядов ОАР, полученных на станциях Владикавказ, Кармадон и на Северном Тянь-Шане показал, что отражение событий в кривых ОАР аналогично Южно-Курильскому полигону
- Следует отметить отражение в кривых ОАР, полученных на станции Кармадон, землетрясения в Греции 25.10.2018 на расстоянии 2100 километров, магнитудой 7,1. В этом случае мы имеем только факт, но реальное физическое объяснение отражения такого далекого события на данный момент отсутствует

Заключение

- Характерные вариации объемной активности почвенного радона для условий Южно-Курильского региона начинаются за несколько дней до, вероятно вызвавшего их события т.е. относятся к краткосрочным предвестниковым эффектам
- По аналогии с горными ударами тектонические события разной удаленности от регистрирующей станции отмечаются на разных частях кривой ОАР для условий Южно-курильского полигона
- Тектонические события на кривой изменения ОАР не наблюдаются на восходящей ветви аномалии для всех рассмотренных регионов

Спасибо за внимание!