

ЗЕМНОПРИЛИВНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

О.Н. Круткина¹, Л.Д. Пруцкая² -

¹ ФГУП ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, ² ФГУП «Кавказгеолсъёмка», Ессентуки

Аннотация. Представлены результаты изучения влияния лунно - солнечных приливов на изменение уровня подземных вод на Северном Кавказе. Рассмотрены геологические особенности района исследований, аппаратные и методические вопросы мониторинга уровня подземных вод. Показано, что существенное влияние на вариации уровня оказывают как приливные движения, так и процессы подготовки тектонических землетрясений. При этом нарушения в реакции уровня вод на влияние лунно - солнечных приливов (как и большинство предвестников землетрясений) зависят не только от параметров землетрясений, но и от геологических условий на участке между наблюдательной скважиной и гипоцентром землетрясения.

EARTH TIDAL FLUCTUATIONS OF SUBSURFACE WATERS LEVEL DURING PREPARATION OF EARTHQUAKES IN THE NORTHERN CAUCASUS

O.N.Krutkina¹, L.D.Prutskaya² -

¹FGUP VSEGEI, St.Petersburg, ²FGUP "Caucasusgeolsurvey", Essentuki

Abstract. The results of study of lunar-solar tides influence on change of subsurface waters level in the Northern Caucasus have been presented. Geological peculiarities of the region under investigation, equipment and methodical problems of monitoring of subsurface waters level have been considered. It has been shown that both tidal movements and processes of tectonic earthquakes exert influence on level variations. Moreover, the disturbances in the response of waters level to influence of lunar-solar tides (like the majority of earthquakes) depend not only on earthquakes parameters but on geological conditions in the area between observation borehole and earthquake hypocenter.

Вопрос о приливном воздействии Луны и Солнца рассматривается очень давно, еще со времен И. Канта и Дж. Дарвина. В 1934г. известный французский геофизик и сейсмолог Эдмонд Ротэ, описывая теорию приливов Алексея Перре (1848г.), отмечал, что «приливы и отливы в твердой оболочке земной коры доказаны с совершенной несомненностью, образование волнообразных движений напоминает развитие океанических приливов». Известно, что каждая точка земной поверхности подвержена также воздействию силы тяготения, обусловленной притяжением всей массы Земли, и центробежной силы, вызываемой вращательным движением Земли.

Деформации земного шара сопровождаются напряжениями и объемными расширениями и сжатиями. Во время прилива кора поднимается и происходит расширение, а во время отлива – сжатие. Очевидно, что все объекты, в том числе и подземные воды, находящиеся в земной коре подвержены этим эффектам (1).

На Северном Кавказе объектами изучения влияния лунно - солнечных приливов на гидросферу являлись вариации подземных вод, анализируемые в связи с необходимостью фильтрации помех в режиме наблюдаемых параметров при мониторинге гидрогеологических предвестников землетрясений (наблюдения проводятся с 1987г. по сегодняшний день). Режимная сеть (Рис.1) состоит из 23 скважин (скв.) различной глубины (100 - 1986м), вскрывающих напорные подземные воды с ненарушенным или стабильно нарушенным режимом, в основном, с отрицательным уровнем; водоносными являются по большей части песчано - глинистые отложения и известняки.

Наблюдения проводятся непрерывно при помощи самописцев «Валдай» и измерительных комплексов «Радиус», дискретность 1 час. Наличие реакции уровня подземных вод (УПВ) на влияние приливо - отливных сил свидетельствует о возможности фиксации напряжений, связанных с

деформациями порядка 10^{-8} .

Наиболее контрастно выражена реакция на лунно - солнечные приливы по скв.2 - П, 187 - М, 823, 5 - РСП, 4 - РСП и 11 - РСП.

Слабая реакция УПВ на влияние лунно - солнечных приливов отмечается по скважинам 1 - П, 2222, 173, 29, 38, 5 - Б и 300а, вскрывающим в большинстве своем неглубоко залегающие напорные подзем-

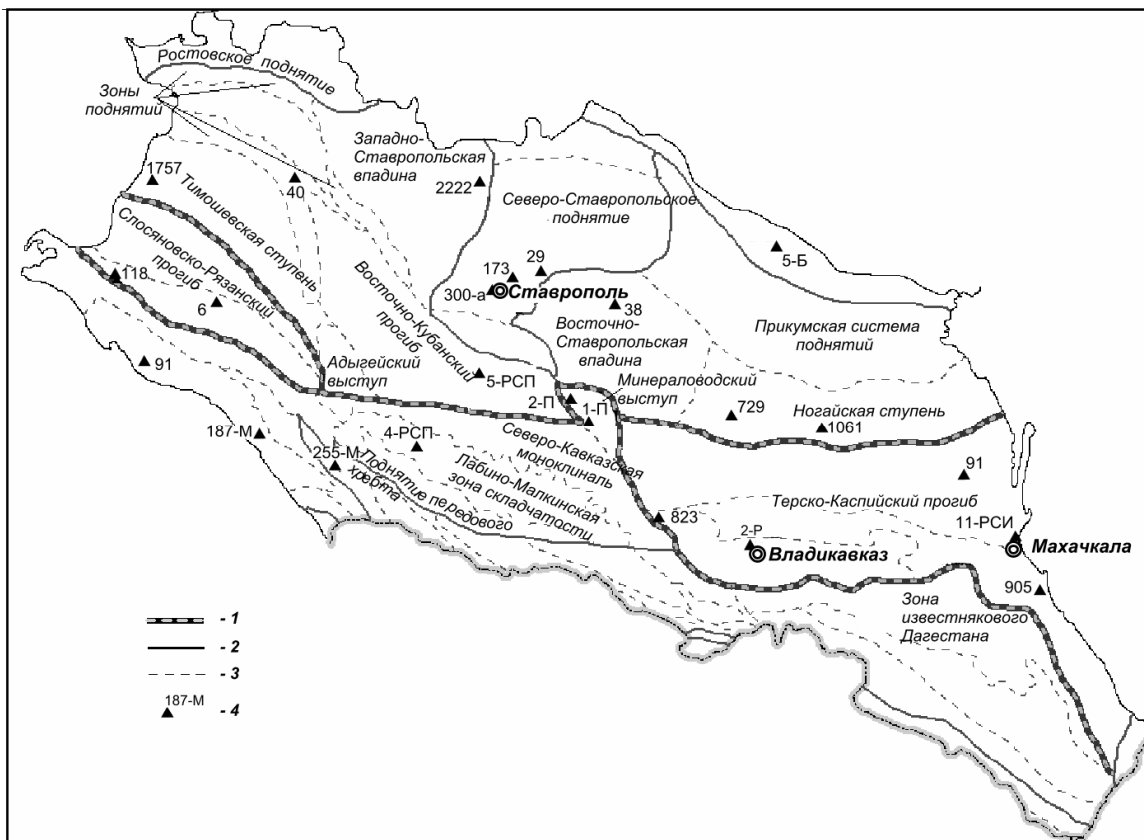


Рис.1. Схема расположения скважин федеральной сети мониторинга гидрогеодеформационного поля Северного Кавказа (в качестве основы использована схема тектонического оайонирования К.Баранова, В.Грачева,1999). Границы между структурами: 1 - первого порядка; 2 - второго порядка; 3 - третьего порядка; 4 - пост наблюдательной сети.

ные воды, развитые в глинистых слабо песчаных отложениях. Так по ряду постов вышеозначенной группы приливные вариации УПВ однозначно выделяются на новолуния и полнолуния; амплитуды же суточных (24 час) приливов не превышают 1.5 - 2см.

Отсутствием видимой реакции на земно-приливные вариации характеризуется скв.2 - Р в связи с высокой скоростью изменения УПВ, где ежедекадный тренд достигает 20 - 25 см, тогда как максимальные приливные вариации по наблюдательным скважинам составляют первые десятки сантиметров.

В этом случае амплитуда изменения УПВ по скв.2 - Р за счет тренда значительно выше амплитуды приливной волны УПВ и в результате «камуфлирует» ее.

Диапазон вариаций уровней подземных вод (УПВ) под воздействием земно-приливных колебаний по различным наблюдательным постам достаточно высок: от нескольких миллиметров (скв.1 - П) до 16 см (скв.11 - РСП). При фоновых вариациях УПВ наиболее выражены 24 и 12 часовые гармоники (Рис.2). Чувствительность к лунно - солнечным приливам наблюдаемых водоносных горизонтов определяется динамическими характеристиками последних - наименее выраженными приливными вариациями характеризуются скважины, пробуренные в глинистых, слабо песчаных отложениях. Немаловажным фактором является так же наличие активных гидродинамических связей с близ-

лежащими водоносными горизонтами и комплексами (возможность активных перетоков), прекрасной демонстрацией этому тезису могут служить режимы по скважинам 1 - П и 2 - П, пробуренным на один водоносный горизонт (Горячий Ключ), находящимся на расстоянии 29.5 км друг от друга. Единственным различием является «тектоническая позиция» постов – скважина 2 - П (контрастные приливы) вскрывает подземные воды в области дериватной трещиноватости Эльбруско - Эссентукской тектонической зоны, тогда как 1 - П находится на Минераловодском выступе севернее регионального Черкесского разлома. Очевидной связи чувствительности постов с их глубиной не обнаружено.

В течение года по отдельному посту контрастность реакции УПВ на лунно-солнечные приливы непостоянна. Это объясняется изменением вклада в режим УПВ других режимобразующих факторов: сезонного тренда, атмосферного давления, подготовкой и протеканием землетрясений и т.д. Коэффициенты корреляции УПВ с теоретически рассчитанными поправками за приливные изменения силы тяжести в разное время (сейсмически активное или спокойное) составили от 0.59 - 0.6 до 0.8 - 0.89

(без компенсации влияния прочих режимобразующих факторов).

При поиске гидрогеологических эффектов, связанных с землетрясениями Северного Кавказа, нами были выделены следующие изменения реакции уровня подземных вод на лунно - солнечные приливы: усиление приливо - отливного эффекта, нивелирование приливо - отливного эффекта (вплоть до полного его исчезновения) и деформирование приливной волны УПВ, часто осложненное мгновенными аномалиями (Рис. 3 - 5). Длительность нарушения реакции на лунно - солнечные приливы составляет от нескольких месяцев до нескольких часов.

Для примера приведем данные по нескольким скважинам сети, имеющим различные гидрогеологические характеристики (в сопоставлении с сейсмичностью с 1991 по 2000г. включительно).

По скв.2 - П (Минераловодский выступ, область повышенной трещиноватости, подземные воды трещинно - пластового типа в песчаниках и алевролитах свиты Горячего Ключа, глубина 270 м), режим ненарушенный, в указанный период, была проанализирована реакция УПВ на лунно - солнечные приливы перед 356 землетрясениями, при-

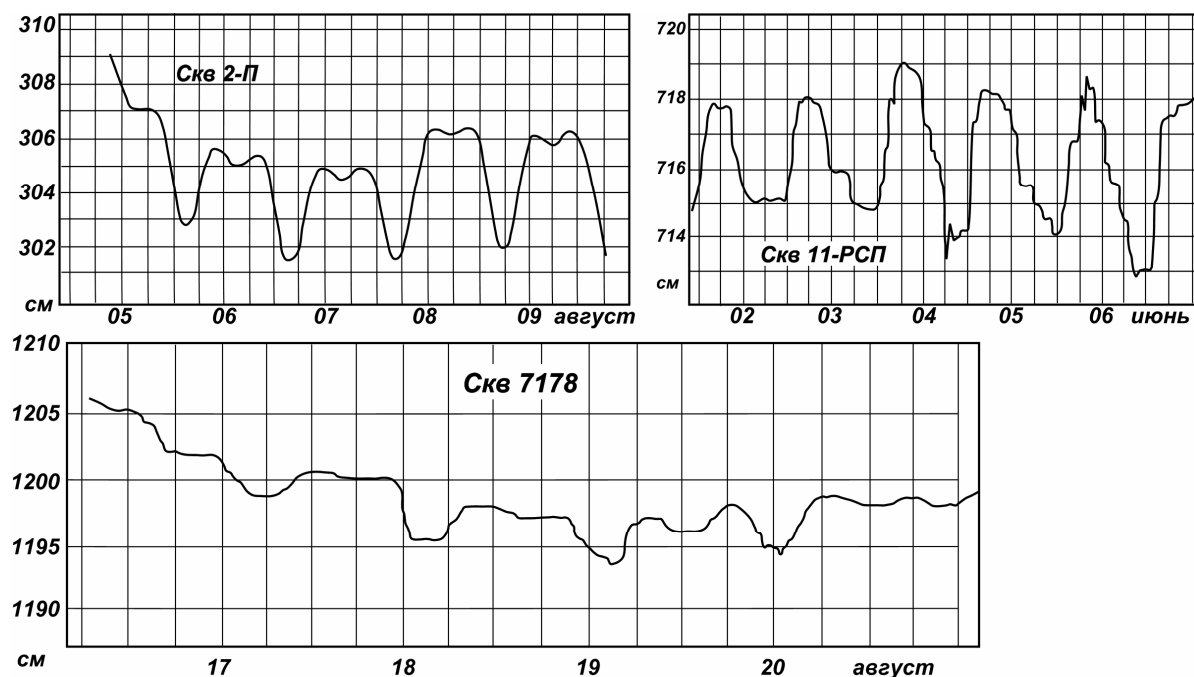


Рис.2. Отражение земноприливных вариаций на лентах фактической записи УПВ в сейсмически спокойное время.

чем только 22 из них были приурочены к фазам полнолуний и новолуний. Перед большинством событий ($M=1.8 - 5.2$; H до 270км) наблюдались предвестниковые изменения, в основном краткосрочные, отмечались все вышеозначенные «деформации» приливной волны. Наиболее длительное (более четырех месяцев) нивелирование при-

ливных вариаций УПВ по скв.2 - П наблюдалось на Рачинское землетрясение(29.04.1991г. $M = 6.5 - 7.2$, $D = 192$ км), что вполне закономерно, учитывая магнитуду последнего. Чувствительность к влиянию лунно - солнечного прилива восстановилась за 4 часа до основного толчка (Рис.2).

Большей частью, предвестниковые из-

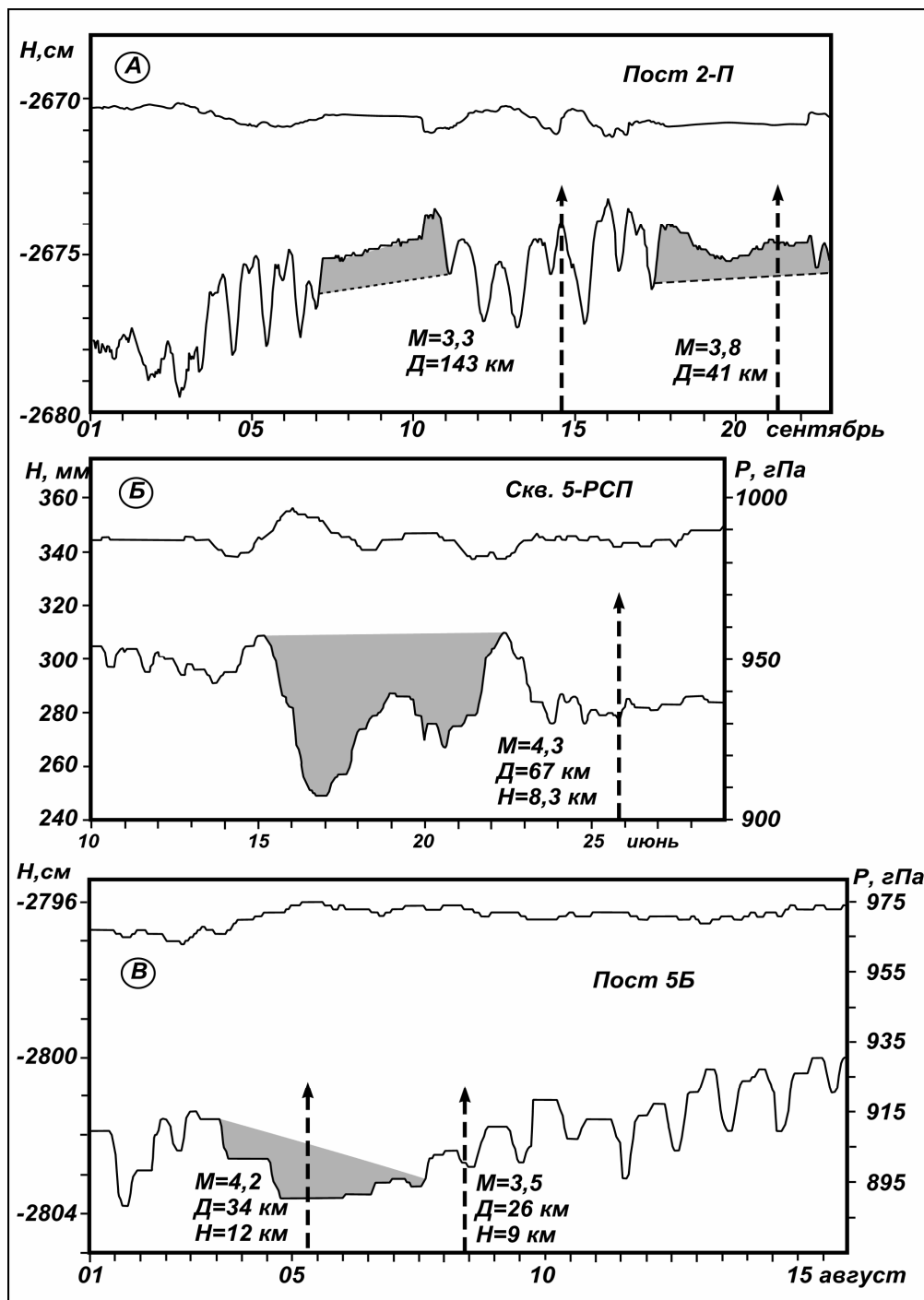


Рис.3. Сейсмогенные гидродинамические аномалии (разнонаправленные деформации приливной волны): А- Реакция УПВ по посту 2-П на землетрясения 13 и 21 сентября 2002 года; Б – реакция поста 5-РСП на землетрясение 25 июня 1998 г.; В – реакция поста 5Б на землетрясения 05 и 08 августа 2000г.

менения приливной волны относились к землетрясениям с эпицентральным расстоянием (от эпицентра землетрясения до конкретного наблюдательного поста) до 100 км. На 5 землетрясений, при магнитуде более 3.5 и менее 4.5 эпицентральные расстояния увеличились соответственно до 130 - 200км. На землетрясения с $M = 4.6 - 5.2$ реакция УПВ распространялась на расстояние до 302 км по отдельным направлениям. Основная масса землетрясений, реакцией на подготовку которых были деформации лунно - солнечной приливной составляющей УПВ, приурочена к структуре Минераловодского выступа и Северо-Кавказской моноклинали.

Два землетрясения с близкими параметрами ($M = 4.1 - 4.2$, $D = 68 - 75$) разрядились в Восточно - Ставропольской впадине и вызвали нивелирование приливо-отливного эффекта УПВ с релаксацией за четверо суток до сейсмических событий.

Одно землетрясение с $M = 5.2(1.02.94$, $H = 10$ км), предваряемое пятисуточным ни-

велированием приливо - отливной волны УПВ, реализовалось на Адыгейском выступе. Ряд землетрясений произошел в Терско - Каспийском прогибе. Следует отметить, что ареалы распространения предвестников не изометричны, и в значительной степени зависят от взаиморасположения источника возмущений и наблюдательного поста, а так же тектонической приуроченности обоих и обстановки прохождения предваряющих деформаций.

По скв.823 (Армавиرو - Невинномысский разлом, воды трещинно - жильного типа в известняках валанжина, глубина 122м) проанализирована реакция УПВ на 492 землетрясения. Магнитуды землетрясений при этом изменялись от 2.1 ($D = 75$ км, $H = 14$ км) до 5.1 ($D = 88$ км, $H = 5$ км); эпицентральные расстояния от 38 ($M = 2.7$, $H = 2$ км) до 228км ($M = 4.9$, $H = 14$ км); гипоцентры от 2 до 41км ($M = 3.7$, $D = 207$ км). Распространение эпицентров землетрясений, перед которыми была нарушена реакция УПВ на лунно - солнечные приливы, ог-

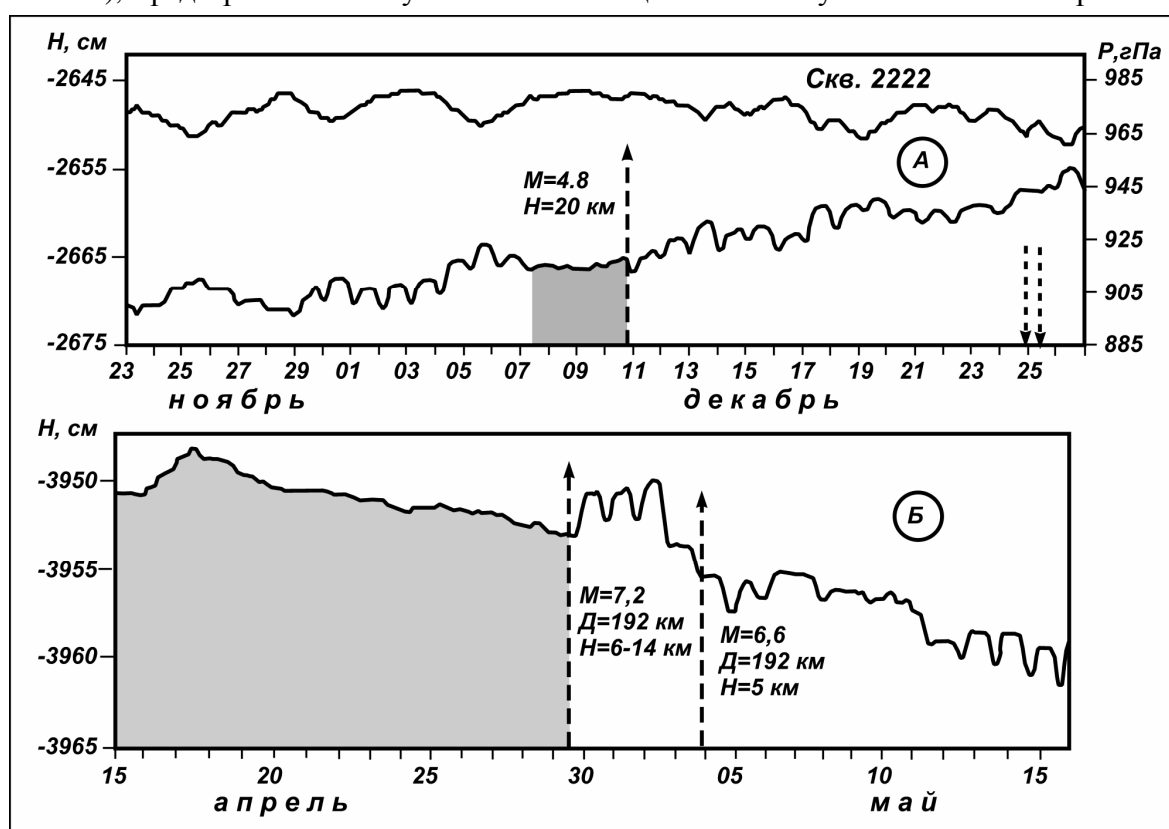


Рис.4. Сейсмогенные гидродинамические аномалии (невелирование приливо-отливного эффекта): А – пост 2222, в правой части графика отмечены афтершоковые 25 декабря) эффекты; Б – пост 838.

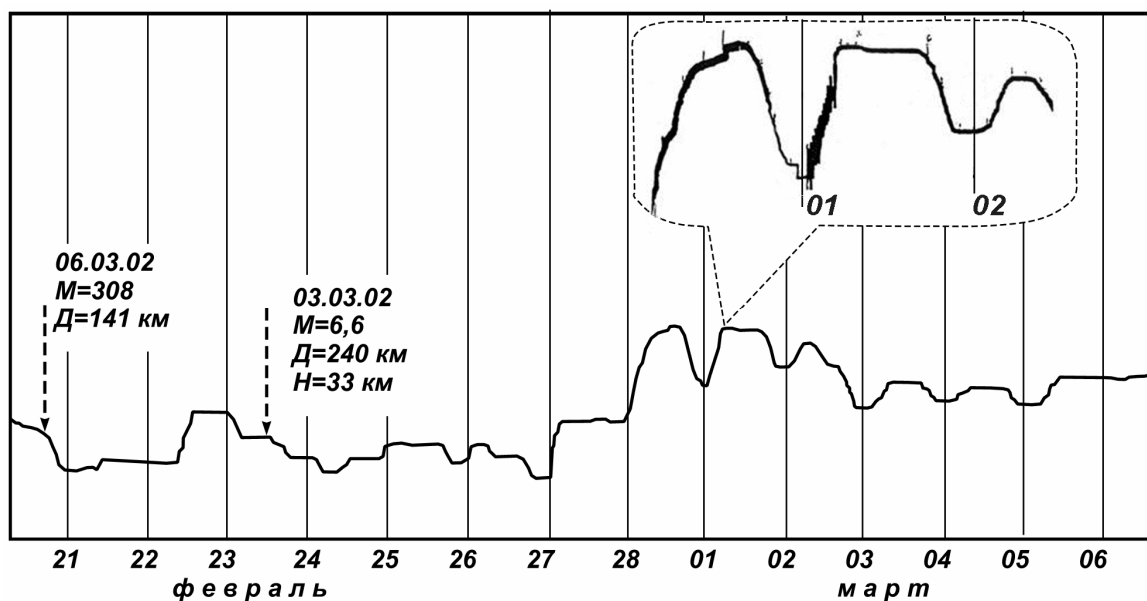


Рис.5. Предвестниковые аномалии УПВ по посту 2-П, осложненные мгновенными аномалиями.

раничено на севере субширотными границами первого порядка (Черкесский разлом и его восточное продолжение, Нагутская флексурно - разрывная зона). К структурам, в пределах которых разрядились указанные землетрясения, относятся Терско - Каспийский прогиб, Северо - Кавказский краевой массив, Северокавказская моноклираль, Складчатоглыбовое поднятие Главного хребта и Восточного Кавказа.

По скв.5 - РСП (Восточно - Кубанский прогиб, воды трещинно-пластового типа в отложениях неогена (N_1^2kg+kn), глубина 301 м) реакция УПВ на лунно - солнечные приливы была изучена на 259 землетрясений. Релаксировали аномалии за сутки или в день землетрясения. Многие землетрясения с эпицентрами ($D = 45 - 99$ км) были расположены в пределах Восточно - Кубанского прогиба, где пробурена скв.5 - РСП. Магнитуды землетрясений изменялись от 2,4 до 4,3; гипоцентры – от 1 до 16км. Часть землетрясений была из Терско – Каспийского прогиба (зона прибортовой и приосевой складчатости и Притерско - Сулакская зона прогибов) и несколько – в пределах Минераловодского выступа и поднятий: Северо - Ставропольского, Тебердинского и Передового хребта. Большинство изменений УПВ перед землетрясениями выглядели, как нивелирование лунно-солнечных приливов. Третья часть характери-

зовалась усилением приливной волны УПВ.

Обобщая анализ индивидуальных режимов различных водоносных горизонтов, вскрываемых постами Северо - Кавказской сети мониторинга гидрогеодеформационного поля можно сделать следующие выводы:

- значительная часть аномалий приливных вариаций уровней подземных вод на Северном Кавказе имеет сейсмогенный характер,
- заблаговременность нарушения реакции УПВ на лунно - солнечные приливы составляет от нескольких месяцев до нескольких часов до землетрясения,
- наблюдаются следующие предвестниковые изменения реакции уровня подземных вод на лунно - солнечные приливы: усиление приливо - отливного эффекта, нивелирование приливо - отливного эффекта и деформирование приливной волны УПВ, часто осложненное мгновенными аномалиями; все выделенные типы нарушений могут характеризовать как изменение тензочувствительности системы, так и величину возмущающей энергии,
- повышение контрастности приливов, говорит об изменении гидродинамических характеристик водопункта в сторону активизации режима (изменение активной пористости, трещиноватости и т.д., степени изолированности системы) – что по

всей вероятности является следствием развития деформаций растяжения в контролируемом геологическом блоке, но не в водоносном горизонте.

- нивелирование приливоно - отливного эффекта, в свою очередь, отражает деформации сжатия и снижение в контролируемом блоке гидродинамических характеристик водоносного горизонта.

- полное исчезновение приливных и барических флуктуаций говорит о полной изоляции объекта наблюдений, который может характеризоваться как состоянием предельного напряжения, так и состоянием относительной стабильности «гидродинамического равновесия», что не менее опасно с точки зрения потенциальной возможности возникновения землетрясения, т.к. непосредственно в сейсмогенерирующем блоке зачастую не наблюдается предвестниковых аномалий,

- разного рода аномалии приливных вариаций УПВ свидетельствуют в пользу того, что сейсмогенные деформации на превышают 10^{-8} , тогда как полное исчезновение фоновых вариаций говорит о наличии более мощных напряжений. Полное исчезновение фоновых флуктуаций УПВ наблюдалось на сейсмические события с магнитудой не менее 4.5. Интересен тот факт, что продолжительность такого рода аномалий так же зависит от интенсивности землетрясений – на события с $M = 4.8 - 5.5$ не превышала трех суток, тогда как на Рачинское землетрясение ($M = 7.2$) наблюдалась в течение четырех месяцев.

- характер аномалий на определенное событие по постам сети различается, как по времени возникновения, так и по типу нарушений, четкой зависимости аномалий от свойств водоносного горизонта и эпицентрального расстояния не выявлено,

- по продолжительности проявления предвестниковые изменения реакции УПВ на лунно - солнечные приливы разделяются на краткосрочные (часы - дни) и длительные (месяцы),

- возникновение нарушений в реакции УПВ на влияние лунно - солнечных приливов (как и большинство предвестников землетрясений) зависит не только от пара-

метров землетрясений, но и от геологических условий на участке между наблюдательной скважиной и гипоцентром землетрясения, что демонстрируют приведенные выше примеры. Скважины 2 - П и 823, пробуренные в зонах крупных тектонических нарушений (границы первого порядка) отличаются значительно большими «ареалами восприимчивости» относительно скважины 5РСП (Восточно - Кубанский прогиб), где практически не наблюдается аномалий на землетрясения южной, юго-восточной и юго - западной ориентировки. Очевидно, что в этом случае региональный Черкесский разлом «экранирует» развитие деформаций большинства сейсмических событий средних магнитуд, тогда как в случае вышеупомянутых постов 2 - П и 823, зоны повышенной трещиноватости являются скорее «проводниками» для гидродинамических эффектов землетрясений происшедших южнее Черкесского разлома. На землетрясения, расположенные севернее - реакции по скважине 823 не наблюдаются, скважина 2 - П продолжает работать. Следует отметить, что данный тезис справедлив лишь для «рядовых» событий, предвестниковые аномалии сильных и катастрофических землетрясений пренебрегают вышеозначенными правилами - наблюдаются более устойчивые и интенсивные деформации, не регламентируемые тектоническими структурами, зачастую превышающие расчетный радиус проявления аномальных эффектов.

- релаксация приливных аномалий по постам сети наступает, как правило, за сутки – трое до землетрясения, в день землетрясения, или в период до трех суток после землетрясения.

Литература

1. Мельхиор П. Земные приливы., 1968, 518 с.
2. Пруцкая Л.Д., Островский А.Б., Круткина О.Н., Батурина Н.В., Растос Л.В. Некоторые аспекты сейсмогидрогеологических исследований на Северном Кавказе. Сборник трудов ИЛСАН РАН, Прикладная геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг, вып.3, Москва, 1999, с. 132 - 137.