

УДК 550.334

## ЛОКАЛЬНЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ И БЛИЗКИЕ ПО МЕСТУ И ВРЕМЕНИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

© 2020 г. Г. А. Соболев<sup>а</sup>\*, Н. А. Закржевская<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Большая Грузинская ул., 10, стр. 1, Москва, 123242 Россия

\*e-mail: sobolev@ifz.ru

Поступила в редакцию 21.12.2019 г.

После доработки 16.02.2020 г.

Принята к публикации 27.02.2020 г.

Изучены за период 2000–2017 гг. записи широкополосной сейсмической станции ААК системы IRIS, расположенной в районе Тянь-Шаня. Сейсмометр STS-1 позволил исследовать скорость деформации грунта в минутном диапазоне периодов. Были выявлены асимметричные аномалии сейсмического шума, отличающиеся от вариаций земного прилива и указывающие на влияние локальных тектонических процессов в некоторые интервалы времени. Несколько сильных землетрясений возникли в дни этих аномалий вблизи сейсмической станции. Статистически не случайное совпадение аномалий сейсмического шума и землетрясений совпадало с увеличением амплитуды вариаций атмосферного давления.

*Ключевые слова:* землетрясения, тектонические деформации, атмосфера, аномалии, земные приливы.

**DOI:** 10.31857/S0203030620030074

### ВВЕДЕНИЕ

После создания в 1990-х годах глобальной системы широкополосных сейсмических станций появился ряд исследований сейсмических шумов в диапазоне периодов  $10^2$ – $10^3$  с [Tanimoto et al., 1998; Ekstrom, 2001; Nishida et al., 2002]. Их природа связывалась с непрерывным существованием хаотично распределенных источников в атмосфере. В работе [Адушкин и др., 2008] обращалось внимание на влияние барических изменений в атмосфере на микросейсмические процессы в земной коре. При сопоставлении сейсмического шума на близко расположенных широкополосных сейсмических станциях было показано, что станция реагирует на локальные изменения в атмосфере [Соболев, Закржевская, 2019].

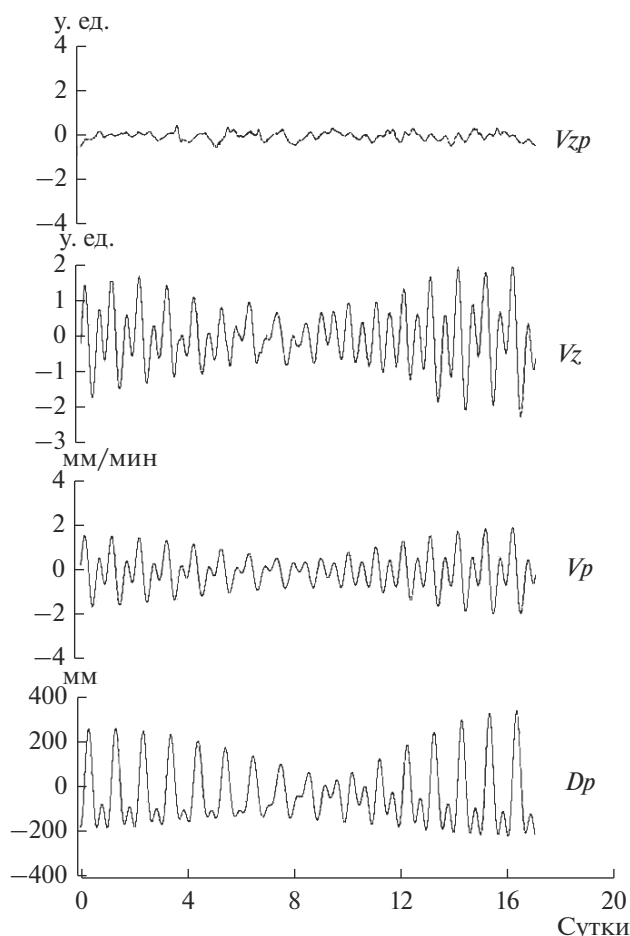
Часть широкополосных станций системы IRIS оснащена велосиметрами STS-1 [Wieland, Streckeisen, 1982]. Чувствительность канала STS-1 составляет примерно 1 отсчет на периоде 360 с при скорости изменения перемещения грунта 1 нм/с, т.е. регистрируются перемещения на уровне нанометров. В сторону более длительных периодов колебаний чувствительность уменьшается в 100 раз с ростом периода на порядок. Этого достаточно, чтобы уверенно регистрировать скорость колебаний земных приливов с периодами 12 и 24 ч, при которых вертикальные перемещения земной поверхности достигают 400 мм [Мельхиор, 1968], а скорости изменения составляют

~2 мм/мин. Вопросы о влиянии различных геофизических явлений на возникновение землетрясений многоплановы и еще мало исследованы. Целью настоящей работы было сопоставление деформаций, регистрируемых широкополосной сейсмической станцией, с земными приливами и вариациями атмосферного давления.

### МЕТОДИКА

В настоящей работе мы использовали данные станций IRIS, полученные по системе INTERNET. Записи станций с дискретизацией 1 отсчет в секунду приводились осреднением к отсчетам через 10 с. Следующим шагом было подавление микросейсм секундного диапазона периодов с применением высокочастотного фильтра Гаусса с радиусом 30 точек [Hardle, 1989; Любушин, 2007]. При вычислениях применялась программа А.А. Любушина SpAn [<http://window.edu.ru/library/pdf2txt/967/71967/49364>]. В результате фильтрации спектр записей отражал вариации в диапазоне от 15 мин до десятков часов. Полученные временные ряды сглаживались осреднением до частоты 1 отсчет в минуту и сопоставлялись с теоретическими значениями земных приливов в точке расположения станции, вычисленными по программе PETGTAB [Wenzel, 1999].

В качестве основной была выбрана станция ААК (Ала-Арха) [42.64° с.ш.–74.49° в.д.], распо-



**Рис. 1.** Сопоставление вертикальных перемещений теоретического земного прилива  $D_p$ , скорости его изменения  $V_p$ , записи вертикального сейсмического канала широкополосной станции  $V_z$  и отклонений показаний сейсмометра от теоретического прилива  $V_{zp}$ .

ложенная на высоте 600 м в предгорьях Киргизского хребта Северного Тянь-Шаня. В районе станции развиты интрузии гранитоидов и осадочно-вулканогенные толщи. На рис. 1 представлены результаты сопоставления теоретического прилива (далее – прилива) и записи вертикального канала LHZ с 9 по 23 мая 2009 г. График 1 демонстрирует вертикальные теоретические перемещения поверхности Земли приливного происхождения  $D_p$ ; график 2 – производную по времени, т.е. скорость изменения прилива  $V_p$ . График 3 соответствует записи вертикального сейсмического канала  $V_z$ ; при этом чувствительность канала уменьшена в 1029 раз, чтобы сопоставить записи в едином масштабе с амплитудой минутных теоретических значений скорости изменения прилива на графике 2. В графиках 1, 2, 3 хорошо выражены 12-часовые колебания. Коэффициент корреляции значений сейсмического канала (график 3) и скорости теоретического

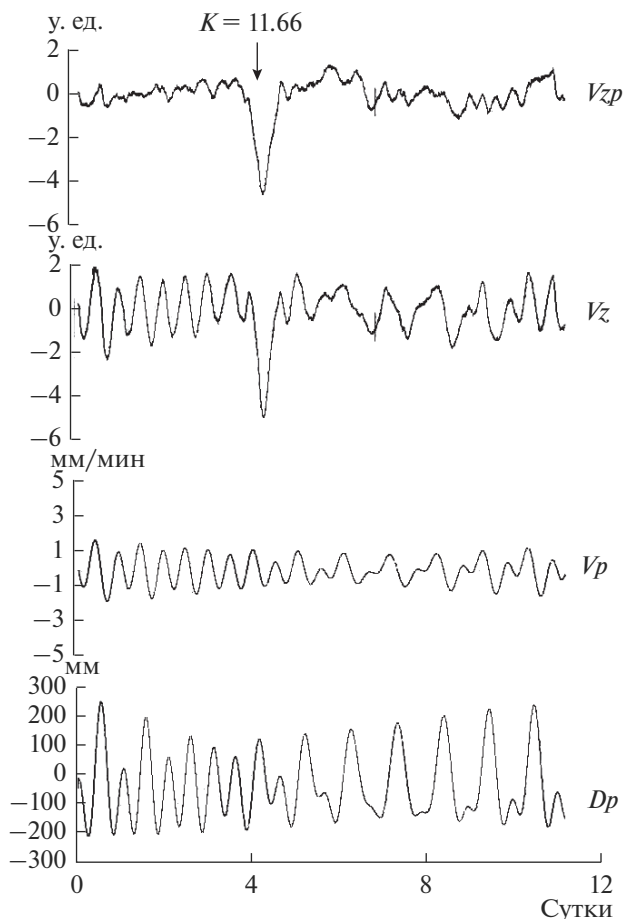
прилива (график 2) составляет 0.99. Это позволяет вычислить разность колебаний, регистрируемых сейсмическим каналом, по сравнению с приливом. Соответствующий результат показан на графике 4. Размах колебаний на графике 4 составляет 0.4 у. ед., а величина среднеквадратического отклонения (СКО)  $\sigma = 0.18$ ; здесь и далее величина  $\sigma$  рассчитывалась по ежеминутным значениям, так что выборки включали десятки тысяч отсчетов. Один из методических выводов состоит в том, что использование записей широкополосной станции с велосметром STS-1 позволяет выявлять реальные отклонения скорости вертикальных перемещений земной поверхности  $V_z$  от скорости теоретического прилива  $V_p$ , если разность  $V_{zp} = (V_z - V_p)$  превышает  $V_p$  примерно на 30%.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящей работе основное внимание уделено выявлению больших значений  $V_{zp}$  и сопоставлению их с сильными землетрясениями. Данные о землетрясениях взяты из сейсмического каталога КНЕТ [Сычева и др., 2005], любезно предоставленного Н.А. Сычевой. Он охватывает к настоящему времени представительные землетрясения с  $K \geq 7$  за период 1996–2018 гг. Пример сопоставления записей сейсмического канала и прилива в интервале 15–25 февраля 2003 г. показан на рис. 2. Графики 1, 2, 3 демонстрируют вариации теоретического прилива  $D_p$ , изменения его скорости  $V_p$  и запись вертикального сейсмического канала  $V_z$ . Стрелка над графиком 4 обозначает время землетрясения энергетического класса  $K = 11.66$ , которое имело координаты  $42.53^\circ$  с.ш.– $74.47^\circ$  в.д., гипоцентр  $H = 13$  км и произошло на удалении  $R = 13$  км от станции ААК. Здесь и далее указаны величины энергетических классов  $K$ , как они обозначены в сейсмическом каталоге КНЕТ [Сычева и др., 2005]. Реальная точность оценки величины  $K$ , по-видимому, не превышает 0.1, т.е. в данном случае  $K \approx 11.7$ .

Явное понижение уровня записи сейсмического канала (график 4) началось за 3.9 ч до землетрясения, а минимум отмечен через 2.2 ч после сейсмического события. Длительность аномалии  $\approx 14$  ч. Амплитуда наибольшего отклонения в 7 раз превышает СКО в предыдущем интервале, что позволяет назвать это отклонение аномалией. Минимум аномалии соответствует началу понижения высоты прилива после максимума (график 1) и уменьшению скорости изменения прилива до минимума (график 2). Из графиков 4 и 2 следует, что аномальное изменение  $V_{zp}$  примерно в 2.5 раза превышает  $V_p$ .

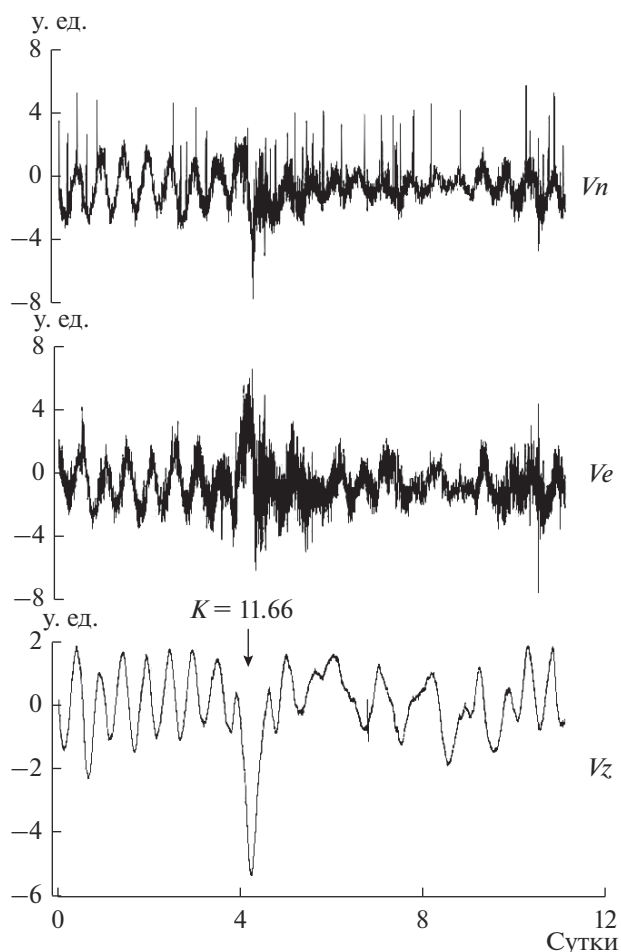
Было выполнено сопоставление синхронных записей вертикального канала и двух горизонтальных ВЗ и СЮ (рис. 3) в том же интервале, что и на рис. 2. Видно, что аномалия вертикального



**Рис. 2.** Пример аномалии зарегистрированных станцией ААК тектонических движений и произошедшего в 13 км от станции землетрясения энергетического класса  $K = 11.66$ .  $Dp$  – теоретический прилив;  $Vp$  – скорость изменения теоретического прилива;  $Vz$  – скорость вертикального перемещения поверхности земли по данным сейсмической станции;  $Vzp$  – разность амплитуды вариаций на графиках  $Vz$  и  $Vp$ .

канала (график 1) проявляется на горизонтальных каналах, но осложнена высокочастотным шумом. В связи с этим дальнейший анализ результатов основан только на записях вертикальных каналов.

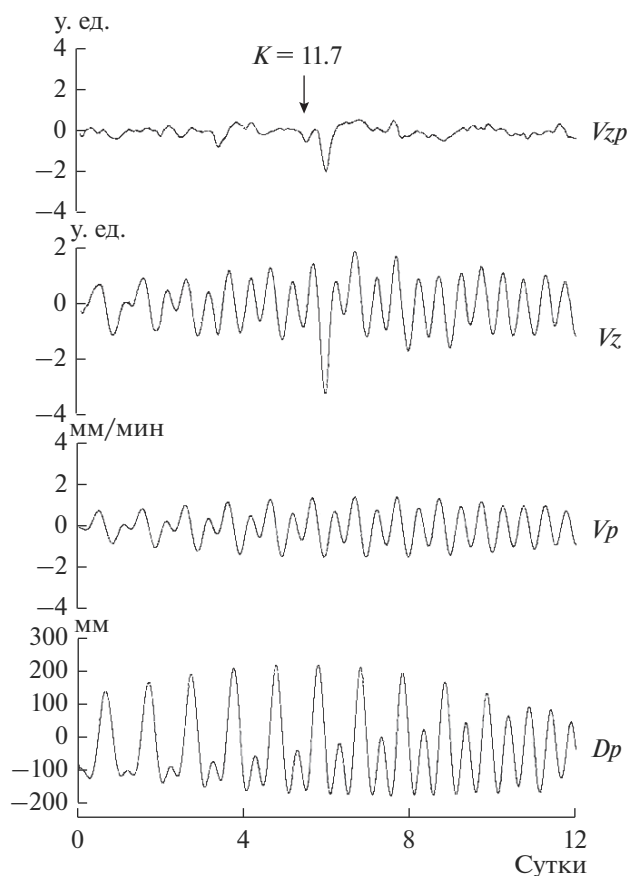
На рис. 4 представлен следующий пример аномалии на станции ААК. Взят интервал с 15 по 26 февраля 2001 г. Графики демонстрируют вариации теоретического прилива  $Dp$ , изменения его скорости  $Vp$ , запись вертикального сейсмического канала  $Vz$  и разницы между амплитудой вариаций сейсмического канала и прилива  $Vzp$ . Так же, как и на рис. 1, наблюдается высокая степень корреляции значений на графиках  $Vp$  и  $Vz$  до минимума на 6-е сутки. График  $Vzp$  указывает на отличия вариаций записи сейсмического канала от скорости изменения прилива. Амплитуда минимума на графике  $Vzp$  5 раз превышает СКО. Стрелка обозначает время землетрясения энерге-



**Рис. 3.** Сопоставление аномалии тектонических движений в записях вертикального канала  $Vz$ , горизонтальных каналов  $Ve$  и  $Vn$ .

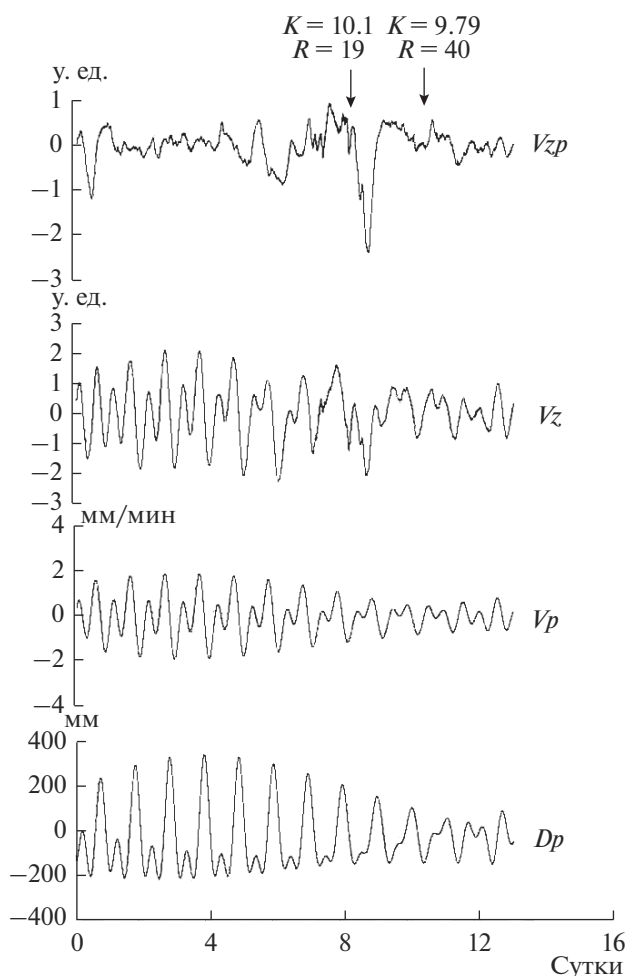
тического класса  $K = 11.7$ , которое произошло на расстоянии 44 км от станции и имело координаты  $42.74^\circ$  с.ш.– $75.00^\circ$  в.д. и глубину 2 км. Сравнение рис. 2 и рис. 4 указывает на аналогичную форму аномалий. Отличия заключаются в следующем: а) длительность аномалии во втором случае меньше и составляет 9 ч, б) минимум аномалии во втором случае приходится на другие фазы изменения прилива и его скорости, в) землетрясение произошло до аномалии с опережением 10.3 ч.

На рис. 5 приведены результаты совпадения во времени аномалии 8 декабря 2002 г. и землетрясения меньших энергетических классов:  $K = 10.1$  и  $K = 9.79$ . Первое произошло за 10.1 ч до аномалии на расстоянии 19 км; второе – через 41.9 ч после аномалии, на расстоянии 40 км. Амплитуда аномалии превышала  $Vp$  в 2.4 раза и  $\sigma$  в 6.5 раз. На рис. 6 продемонстрирован интересный пример, когда землетрясение с  $K = 9.28$  случилось во время развития аномалии 11 ноября 2009 г. на расстоянии 41 км от станции ААК; величина анома-



**Рис. 4.** Пример аномалии зарегистрированных станцией ААК тектонических движений и произошедшего в 44 км от станции землетрясения энергетического класса  $K = 11.7$ .  $Dp$  – теоретический прилив;  $Vp$  – скорость изменения теоретического прилива;  $Vz$  – скорость вертикального перемещения поверхности земли по данным сейсмической станции;  $Vzp$  – разность амплитуды вариаций на графиках  $Vz$  и  $Vp$ .

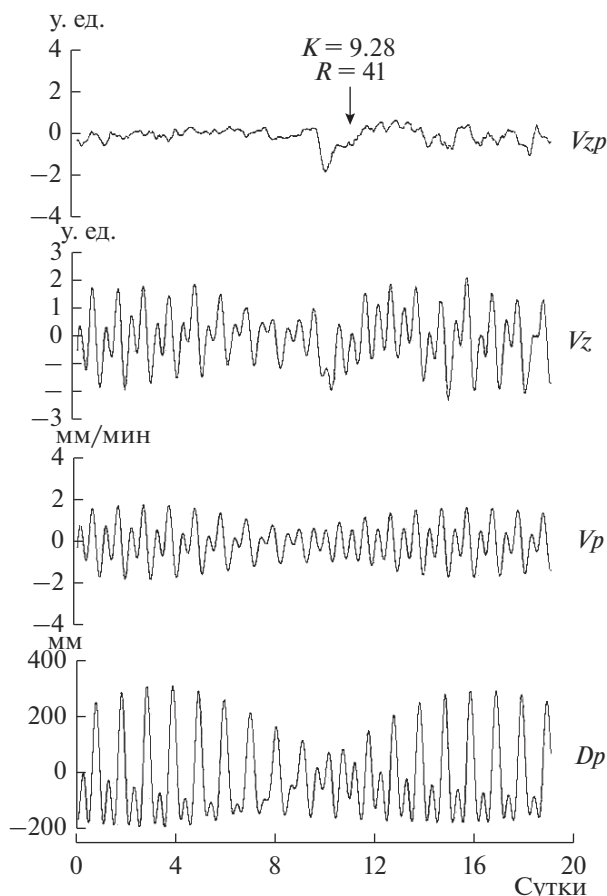
лии при  $\sigma \approx 5$  превышала  $Vp$  в 1.7 раза. На рис. 7 показана аномалия, которая не сопровождалась относительно сильным землетрясением. Представлен интервал с 15 по 27 февраля 2007 г. Наиболее близкое по времени землетрясение с  $K = 10.43$  произошло 10 марта на расстоянии 136 км от станции. Представленные на рис. 2–7 аномалии тектонических движений, как и другие, происходили в разных фазах изменения земных приливов, что указывает на отсутствие прямой связи между этими явлениями. Отметим, что аномалии, типа выше показанных, свойственны не только станции ААК. Были исследованы записи 2-х ближайших к станции ААК широкополосных станций: АВКТ (Алибек), расположенной в предгорьях Копет-Дага ( $37.93^\circ$  с.ш.– $58.12^\circ$  в.д.) и WMQ – северный Китай ( $43.82^\circ$  с.ш.– $87.69^\circ$  в.д.). На первой из них выделялись аномалии, амплитуда которых превышала скорость изменения прилива, но не синхронные с аномалиями на



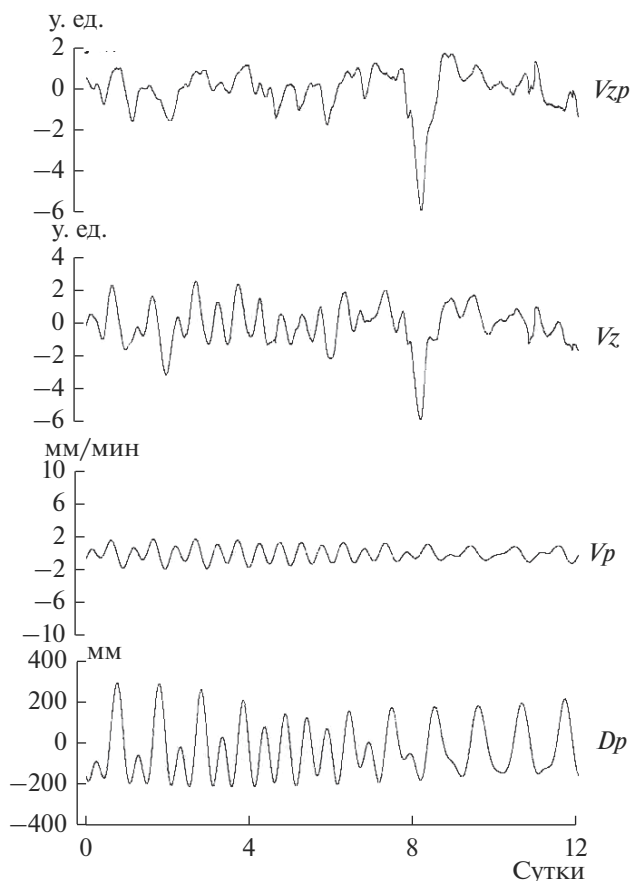
**Рис. 5.** Пример аномалии зарегистрированных станцией ААК тектонических движений и землетрясений с  $K = 10.1$  и  $K = 9.78$ ; указаны расстояния  $R$  от станции.  $Dp$  – теоретический прилив;  $Vp$  – скорость изменения теоретического прилива;  $Vz$  – скорость вертикального перемещения поверхности земли по данным сейсмической станции;  $Vzp$  – разность амплитуды вариаций на графиках  $Vz$  и  $Vp$ .

станции ААК. Количественного сопоставления записей 2-х станций провести не удалось из-за пропусков регистрации на станции АВКТ. В интервалах непрерывных записей станции WMQ аномалий не обнаружено.

Сопоставление записей сейсмического канала и приливов было оправдано в тех временных интервалах, когда в работе станции ААК не было перерывов. Из всех записей станции за период 2000–2018 гг. общая длительность непрерывных и не осложненных помехами участков составила 9.5 лет, что позволяло вести поиск вышепоказанных аномалий. Характерной их особенностью была относительно простая форма однополярного импульса отрицательной полярности. Всего было выявлено 10 аномалий с амплитудой, превы-



**Рис. 6.** Пример аномалии зарегистрированных станцией ААК тектонических движений и произошедшего в 44 км от станции землетрясения энергетического класса  $K = 9.28$ .  $D_p$  – теоретический прилив;  $V_p$  – скорость изменения теоретического прилива;  $V_z$  – скорость вертикального перемещения поверхности земли по данным сейсмической станции;  $V_{zp}$  – разность амплитуды вариаций на графиках  $V_z$  и  $V_p$ .



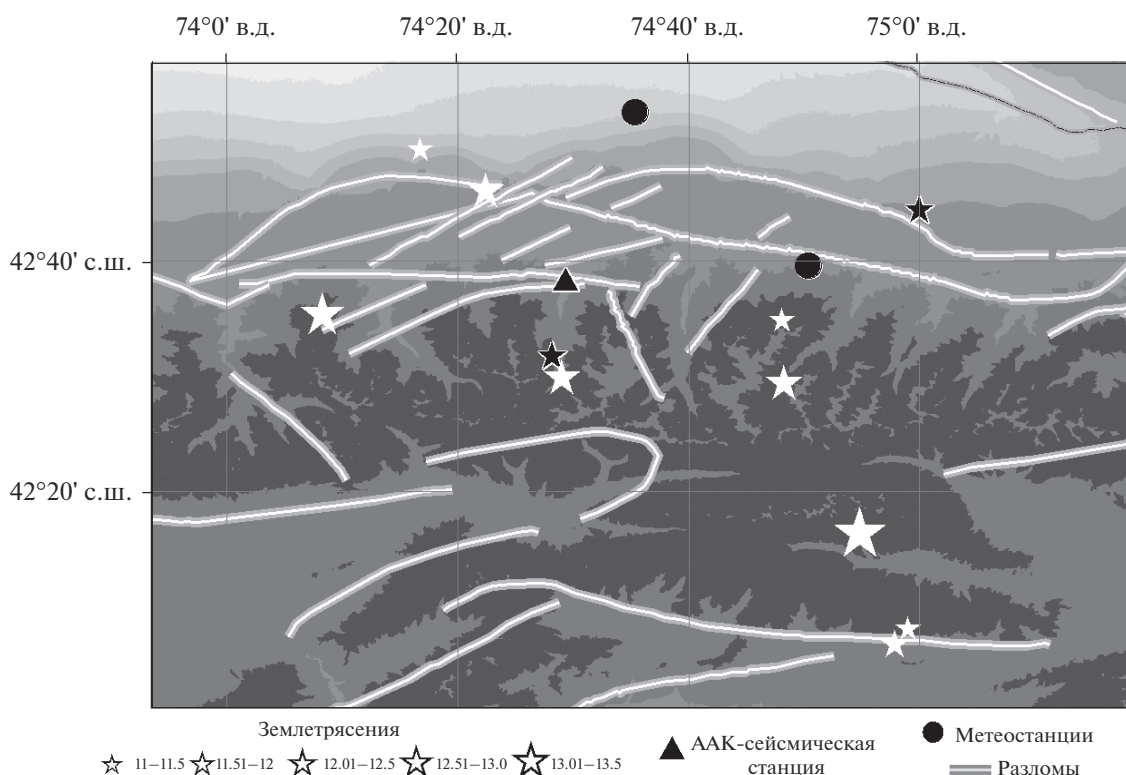
**Рис. 7.** Пример аномалии зарегистрированных станцией ААК тектонических движений, не сопровождавшейся землетрясением.  $D_p$  – теоретический прилив;  $V_p$  – скорость изменения теоретического прилива;  $V_z$  – скорость вертикального перемещения поверхности земли по данным сейсмической станции;  $V_{zp}$  – разность амплитуды вариаций на графиках  $V_z$  и  $V_p$ .

шающих скорость приливных колебаний (табл. 1). Для учета произошедших землетрясений был выбран окружающий станцию район с координатами от  $41^\circ$  до  $44^\circ$  с.ш. и от  $73^\circ$  до  $76^\circ$  в.д.; наибольшее расстояние от станции ААК не превышало  $R = 220$  км. За время анализа аномалий в течение 9.5 лет = 3470 суток в этом районе случились 11 землетрясений –  $K > 11$  (табл. 2), 37 –  $K > 10$  и 111 –  $K > 9$ . Из них 4 землетрясения произошли в одни и те же сутки, что и тектонические аномалии (см. рис. 1, 4, 5, 6). Расположение эпицентров землетрясений с  $K > 11$  показано на рис. 8; черными звездочками обозначены 2 землетрясения, совпавшие по времени с тектоническими аномалиями (см. рис. 2, 4).

Случайны ли эти совпадения? Выполним небольшой анализ. Обнаружены 10 аномалий, занимающих 10 сут общего времени анализа  $T = 3470$  сут. Вероятность случайного попадания одного землетрясения в одну из этих аномалий  $p = 10/3470 =$

**Таблица 1.** Аномалии, амплитуда которых  $A$  (у. ед.) превышала скорость изменения земного прилива ( $T$  – длительность аномалии в часах)

Год	Месяц	День	$A$	$T$
2001	2	21	4.8	14
2002	12	81	2.4	12
2003	2	20	2.5	9
2007	2	23	4.9	20
2009	2	26	2	11
2009	3	9	2.1	8
2009	11	11	1.2	10
2010	1	2	1.7	9
2010	8	21	2.1	8
2011	2	12	1.1	10



**Рис. 8.** Расположение сейсмической станции ААК, метеорологических станций и эпицентров землетрясений энергетических классов  $K > 11$ , произошедших за время анализа тектонических движений. Черным цветом обозначены землетрясения, произошедшие в 1 сутки с тектоническими аномалиями.

$= 0.0029$ ; вероятность не попадания  $q = (1 - p) = 0.9971$ . Вероятность попадания 2-х из 11 землетрясений с  $K > 11$  в 2 занятых аномалиями суточных интервалов может быть оценена из биномиального распределения

$$P(2) = C_n^m p^m q^{(n-m)}, \quad (1)$$

где  $n = 11$ ,  $m = 2$ . Получаем вероятность случайного попадания  $P(2) = 4.6 \times 10^{-4}$ . Столь же мала вероятность попадания 3-х землетрясений с  $K > 10$  из 37 в 3 занятых аномалиями суток ( $n = 37$ ,  $m = 3$ ):  $P(3) = 1.9 \times 10^{-4}$ . Аналогичный результат получается при  $n = 111$  и  $m = 4$  для землетрясений  $K > 9$ :  $P(4) = 4.2 \times 10^{-4}$ . Уровни значимости того, что

**Таблица 2.** Землетрясения энергетического класса  $K > 11$ , произошедшие на расстоянии  $R < 220$  км от станции ААК во время анализа тектонических деформаций

Год	Месяц	День	Час	Мин	Ширина	Долгота	Глубина	Класс
2000	7	28	8	56	42.58	74.80	16	11.19
2001	2	21	12	15	42.74	75.00	2	11.7
2001	7	8	11	51	42.14	74.98	14	11.18
2001	11	18	1	28	42.59	74.14	7	12.65
2003	2	21	10	35	42.53	74.47	13	11.66
2003	10	6	16	42	42.50	74.48	16	11.95
2004	2	4	19	48	42.83	74.28	7	11.26
2004	6	2	17	15	42.28	74.91	18	13.25
2008	10	6	15	42	42.50	74.48	16	11.95
2014	5	28	2	25	42.49	74.80	12	11.97
2017	7	29	5	33	42.11	74.96	17	11.77

число совпадений во времени аномалий и землетрясений  $N_2$  из  $N$  не подчиняется биномиальному распределению и не является случайным

$$\alpha = \sum_{n=N_2}^N p_N(n) \quad (2)$$

во всех трех случаях имеют значения  $\approx 10^{-5}$ , что много меньше критического значения  $\alpha = 0.05$ . Это означает, что с вероятностью  $>0.99$  можно принять гипотезу 1 о том, что отмеченные совпадения времени появления тектонических деформаций и землетрясений не являются случайными и вызваны общей причиной.

Предпочтительным является предположение, что отмеченное явление связано с процессами в атмосфере. В работах [Tanimoto et al., 1998; Nishida et al., 2002] авторы полагали, что регистрируемый сейсмическими станциями низкочастотный шум с периодами  $>500$  с вызван перемещением воздушных масс. При сопоставлении сейсмического шума на близко расположенных широкополосных сейсмических станциях [Соболев, 2019], было показано, что станции реагируют на локальные изменения в атмосфере. Полученные там экспоненциальные закономерности увеличения амплитуды спектра мощности шума с ростом периода качественно соответствуют явлению фликкер шума и созданной А.Н. Колмогоровым теории локально изотропной турбулентности в атмосфере. В 28 км к северу от сейсмической станции ААК находится метеорологическая станция в г. Бишкек (МСБ). Там регистрируются вариации атмосферного давления  $P_{\text{атм}}$  2 раза в сутки. На рис. 9 приведены вариациях  $P_{\text{атм}}$  по данным МСБ во время тектонических аномалий 2003 и 2001 гг. Зимние месяцы характеризуются повышенными перепадами давления. Стрелками на графиках 1 и 2 обозначены моменты землетрясений  $K = 11.66$  и  $K = 11.7$  (см. рис. 2, 4). Они приурочены к резким понижениям  $P_{\text{атм}}$ .

С декабря 2007 г. на территории Научной станции РАН в Киргизии начала работать метеорологическая станция (МСН), которая регистрирует среди прочих данные по атмосферному давлению  $P_{\text{атм}}$  с дискретностью 15 мин. Она расположена в 29 км к востоку от сейсмической станции ААК и в 32 км от МСБ (см. рис. 8). Сопоставление показало, что вариации на двух упомянутых метеостанциях в суточном осреднении идентичны с коэффициентом корреляции  $\approx 0.99$ . Это говорит о широком фронте аналогичных вариаций атмосферного давления в регионе от Чуйской впадины (Бишкек) до предгорий Киргизского хребта, где расположена станция ААК.

Кинетику тектонических аномалий и вариаций  $P_{\text{атм}}$  можно сравнить в те периоды, когда метеорологические наблюдения с частотой опроса

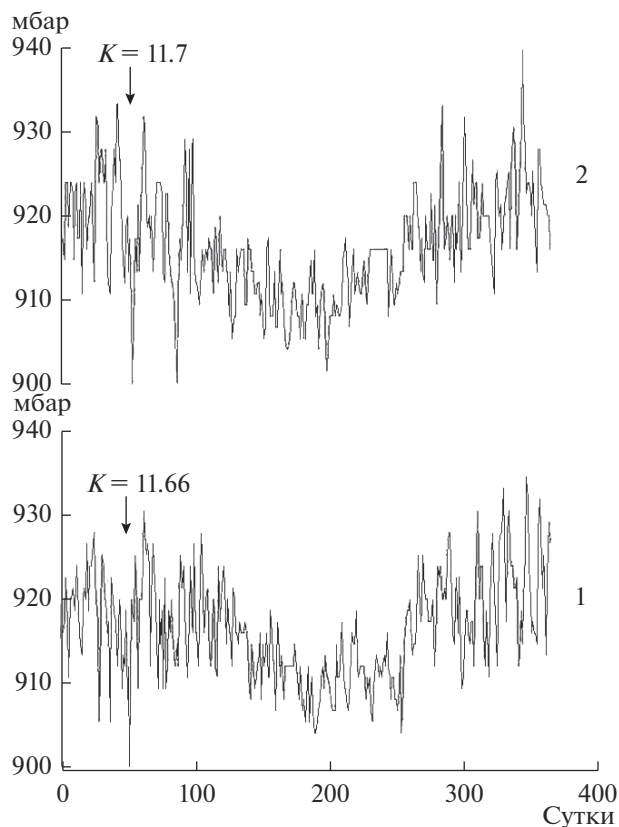


Рис. 9. Вариации атмосферного давления 2003 г. (1) и 2001 г. (2) в сопоставлении с моментами землетрясений (стрелки).

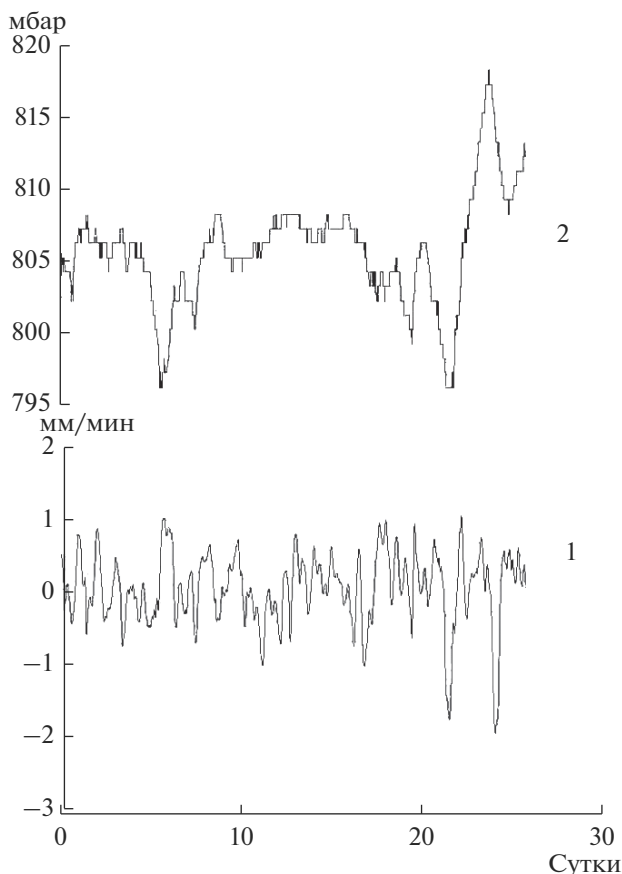
15 мин уже осуществлялись научной станцией РАН (с 2008 г.). Для примера на рис. 10 дано сопоставление тектонических деформаций по сейсмическому каналу станции ААК (график 1) и вариаций атмосферного давления по данным МСН (график 2) в интервале 1–26 февраля 2014 г.

Две аномалии 22 и 24 февраля на графике 1 по форме аналогичны приведенным на рис. 2–7. Их длительность составляет примерно 16 и 14 ч. Повышенный перепад атмосферного давления от 796 до 818 Мбар отмечен в это же время. Но прямой аналогии в форме тектонических вариаций и атмосферного давления не обнаруживается.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из рис. 8 следует, что местоположение обозначенных черным цветом землетрясений с  $K = 11.66$  и  $K = 11.7$ , которые произошли в те же сутки, что и аномалии, не выделяется ни по расстоянию от станции ААК, ни спецификой разломов [Трифонов и др., 1987] от других землетрясений. Обратим внимание на следующие обстоятельства.

1) Размер разрыва в очаге при землетрясении энергетического класса  $K = 11.7$  может быть оценен



**Рис. 10.** Пример сопоставления аномалий тектонических движений на станции ААК (1) и вариаций атмосферного давления на метеорологической станции (2) в интервале 1–26 февраля 2014 г.

по данным [Ризниченко, 1976] величиной  $\approx 4$  км, что в несколько раз меньше указанных выше эпицентральных расстояний до сейсмической станции ААК (13 км – см. рис. 2 и 44 км – см. рис. 4). Это позволяет допустить, что очаги данных землетрясений и регистрируемые сейсмическими каналами тектонические деформации принадлежат разным разломам.

2) Землетрясения возникают как до, так и после тектонической аномалии. Соответственно, маловероятно, что между ними существует прямая причинно-следственная связь.

3) Появление землетрясения практически не изменяет форму развития аномалии.

4) Возникновение аномалий и землетрясений приурочено к повышенным градиентам атмосферного давления.

С учетом данных фактов, можно очень осторожно предположить механизм описанного явления. Перепады атмосферного давления в рассмотренном районе Киргизии проявляются в больших областях и их градиенты повышены в

зимние месяцы. Перемещения воздушных масс приводят к изменению сил гравитации. Не исключено при этом инициирование как медленных подвижек (тектонические аномалии), так и динамических разрывов (землетрясения) в разломах, находящихся в условиях неустойчивого равновесия.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность А.К. Рыбину и Н.А. Сычевой за предоставление метеорологических данных и сейсмологического каталога КНЕТ территории Геодинамического полигона Научной станции РАН в Киргизии.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа поддержана грантом РФФИ № 18-05-00026.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адушкин В.В., Локтев Д.Н., Спивак А.А.* Влияние барических возмущений атмосферы на микросейсмические процессы в земной коре // *Физика Земли*. 2008. № 6. С. 77–85.
- Голицын Г.С., Мохов И.И., Куличков С.Н. и др.* Редакционная коллегия. Турбулентность, динамика атмосферы и климата. М.: ГЕОС, 2014. 696 с.
- Колмогоров А.Н.* Локальная структура турбулентности в несжимаемой жидкости при очень больших числах Рейнольдса // *Докл. АН СССР*. 1941. Т. 30. № 4. С. 299–303.
- Любушин А.А.* Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука, 2007. 228 с.
- Мельхиор П.* Земные приливы. М.: Мир, 1968. 454 с.
- Ризниченко Ю.В.* Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // *Исследования по физике землетрясений*. М.: Наука, 1976. С. 9–27.
- Соболев Г.А., Закржевская Н.А.* Пространственная и временная структура глобального низкочастотного сейсмического шума // *Физика Земли*. 2019. № 4. С. 3–16.
- Сычева Н.А., Юнга С.Л., Богомолов Л.М., Мухамадиева В.А.* Сейсмотектонические деформации земной коры Северного Тянь-Шаня (по данным определений механизмов очагов землетрясений на базе цифровой сейсмической сети КНЕТ) // *Физика Земли*. 2005. № 11. С. 62–78.
- Трифонов В.Г., Леви К.Г., Лукина Н.В. и др.* Карта активных разломов СССР и сопредельных территорий. Иркутск, М.: ГУГК, ГИН АН СССР, 1987.
- Ekstrom G.* Time domain analysis of Earth's long-period background seismic radiation // *J. Geophys. Res.* 2001. V. 106. № B11. P. 26483–26493.
- Hardle W.* Applied nonparametric regression. Cambridge, N.Y., New Rochell, Melbourne, Sydney: Cambridge University Press, 1989. (Русский перевод: *Хардле В.* Прикладная непараметрическая регрессия. М.: Мир, 1993. 349 с.)



*Nishida K., Kobayashi N., Fukao Y.* Origin of Earth's ground noise from 2 to 20 mHz // *Geophys. Res. Letters.* 2002. V. 29. № 10. P. 52.1–52.4.

*Tanimoto T., Um J., Nishida K., Kobayashi N.* Earth's continuous oscillations observed on seismically quiet days // *Geophys. Res. Letters.* 1998. V. 25. P. 1553–1556.

*Wenzel G.* Program PETGTAB. Version 3.01. Hannover: Universitaet Hannover, 1999.

*Wieland E., Streckeisen G.* The leaf-spring seismometer – design and performance // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1982. V. 72. P. 2349–2367.

## Local Tectonic Deformations and Close to Place and Time Earthquakes

**G. A. Sobolev<sup>1,\*</sup> and N. A. Zakrzhevskaya<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences,  
Bol'shaya Gruzinskaya str., 10, building 1, Moscow, 123242 Russia*

*\*e-mail: sobolev@ifz.ru*

The records by broadband seismic station AAK located in area of Tien-Shan were studied in the period 2000–2017. The STS-1 seismometer provided ground motion velocity recording in a minute range of periods. The asymmetric seismic noise anomalies differed from the variations of the Earth's tides indicating the influence of local tectonic processes during some time intervals. The several strong earthquakes occurred near seismic station in the days of anomalies. Not statistically incidentally coincidence of seismic noise anomalies and earthquakes corresponded to the increase of the atmospheric pressure variations.

*Keywords:* earthquakes, tectonic deformations, atmosphere, anomalies, Earth's tides.