

УДК 523.62-726

М. И. Рябов¹, А. Е. Вольвач², А. Л. Сухарев¹, А. И. Донских³, В. В. Адобовский⁴,
Н. Я. Куклина⁵, О. А. Шабалина⁵, Г. А. Губарь⁶, С. Л. Покидайло⁶

¹ Одеська обсерваторія УРАН-4 Інституту радіоастрономії Національної академії наук України

² Лабораторія радіоастрономії НДІ «Кримська астрофізична обсерваторія» Міністерства освіти і науки України

³ Кафедра астрономії фізичного факультету Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова

⁴ Одеський філіал Інституту біології Південних морів ім. О. О. Ковалевського Національної академії наук України

⁵ Експериментальне відділення Морського гідрофізичного інституту Національної академії наук України

⁶ Ялтинська Морська гідрометеорологічна станція Міністерства надзвичайних ситуацій України

ВРЕМЕННОЙ СПЕКТР КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ И ЕГО ВОЗМОЖНАЯ СВЯЗЬ С ДИНАМИКОЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ РТ-22 КРАО КАК ЭЛЕМЕНТА ЕВРОПЕЙСКОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ РСДБ-СЕТИ

У рамках міжнародних геодинамічних РНДБ-програм протягом 1994–2010 рр. визначено координати телескопа РТ-22 станції «Сімеїз». Зіставлено значення із середньомісячними значеннями рівня Чорного моря, отриманими на станціях в Одесі, Очакові, Севастополі, Ялті і Кацивелі. Всі пункти вимірювань рівня моря мають різні системи водостоку, що дає можливість досліджувати глобальні геодинамічні процеси і їхню залежність від циклу сонячної активності. Застосування програм розрахунків спектру часових варіацій рівня моря в різних пунктах показує збіг періодів від одного року до 11 і 22 р. За допомогою вейвлет-аналізу визначено особливості прояву цих періодів для кожної станції рівня моря окремо.

ВВЕДЕНИЕ

На базе станций космической геодезии и геодинимики лаборатории радиоастрономии Научно-исследовательского института «Крымская астрофизическая обсерватория» (ЛРА НИИ КраО) и Крымской лазерной обсерватории ГАО НАН Украины (КЛО ГАО НАНУ) создан уникальный геодинимический полигон «Симеиз — Кацивели», который объединяет все три технологии наблюдений — РСДБ-станцию «Симеиз», два лазерных спутниковых дальномера, две станции радиотехнических наблюдений спутников глобальных навигационных систем и датчик уровня моря. Близкое расположение (<3 км) дает возможность контролировать их положение прямыми геодезическими измерениями.

Все станции геодезии и геодинимики ЛРА НИИ КраО и КЛО ГАО НАНУ являются интегрированными в соответствующие международные службы. Полученные данные используются для исследования динамики Земли, разнообразных геофизических явлений, построения задач базового координатно-временного обеспечения Украины, потребностей космической навигации.

Для различных точек океанов и морей вычисляются средние уровни. Они являются исходными уровнями для определения абсолютных высот земной поверхности и глубин морей. В каждой стране за стандарт принята одна такая точка. В СССР отсчеты глубин и высот велись от уровня Финского залива в Кронштадте (нулевой уровень). В Западной Европе все отсчеты производятся от уровня Северного моря.

Медленное и длительное изменение уровня океана (вековые колебания) может быть вызва-

© М. И. РЯБОВ, А. Е. ВОЛЬВАЧ, А. Л. СУХАРЕВ,
А. И. ДОНСКИХ, В. В. АДОБОВСКИЙ, Н. Я. КУКЛИНА,
О. А. ШАБАЛИНА, Г. А. ГУБАРЬ, С. Л. ПОКИДАЙЛО, 2012

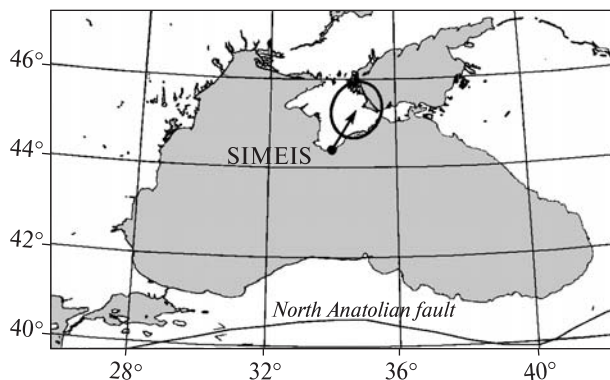


Рис. 1. Движение станции «Симеиз»

но двумя причинами. Уровень океана может повышаться или понижаться в связи с увеличением или уменьшением воды в нем, например, в связи с покровными оледенениями (эти изменения называют гидрократическими, или эвстатическими). Колебания уровня могут быть вызваны изменением емкости океана в связи с процессами, происходящими внутри Земли, и колебаниями земной коры (геократические изменения). Эти колебания не зависят от изменений количества воды и определяются поднятием или опусканием участков литосферы. Опускание дна океанов вызовет понижение его уровня, поднятие дна — повышение.

ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ РСДБ-СТАНЦИИ «СИМЕИЗ»

Радиогалактики и квазары — удаленные космические объекты, исследование которых имеет фундаментальное и прикладное значение. Мощное энерговыделение при относительно малых размерах делает их доступными для наблюдений на огромных космологических расстояниях, а понимание физики этих объектов позволяет уточнить представления об эволюции Вселенной.

Наблюдения предельно удаленных квазаров, большая часть которых в картинной плоскости неподвижна, на миллисекундном уровне на протяжении сотен лет, методом радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) позволяет с точностью до длины волны измерять

расстояния между наземными пунктами, различными на тысячи километров друг от друга.

С участием РТ-22 КраО в глобальной сети геодинимических РСДБ-станций регулярно проводятся наблюдения внегалактических источников. Наблюдательные программы являются суммой общих усилий для решения задач построения земной и глобальной систем координат, а также для определения параметров вращения Земли, проводимых под эгидой международной службы РСДБ. Эти наблюдения могут быть использованы для точных измерений различных эффектов. Получаемые значения горизонтальных и вертикальных движений представляют принципиальный интерес для теории глобальной тектоники литосферных плит.

По РСДБ-наблюдениям, выполненным по международным геодинимическим программам на протяжении 1994—2010 гг., получены оценки горизонтальной и вертикальной скорости движения станции «Симеиз». Проанализировав массив из 2.7 млн наблюдений, определено, что станция перемещается в северо-восточном направлении с абсолютной скоростью 32.8 мм/год, а относительно Евразийской тектонической плиты — со скоростью 2.9 мм/год в том же северо-восточном направлении (рис. 1). Возможные систематические эффекты были тщательно исследованы, и оценена надежность определения формальных значений ошибок. Дополнительно исследована стабильность положения станции относительно местных маркеров.

Проведенные исследования показали, что тектоническое движение в восточном Средиземноморье сложное. Оно является результатом взаимодействия Евразийской, Африканской и Аравийской плит. Граница тектонических плит связана с Северо-Анатолийским трансформным разломом. Анатолийский блок движется в западном направлении вдоль разлома, его в свою очередь толкают в северном направлении Аравийская и Африканская плиты, что вызывает деформацию в южной части Евразийской плиты.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ МОРЯ

На протяжении более ста лет уровень моря измеряется традиционно на береговых прилив-

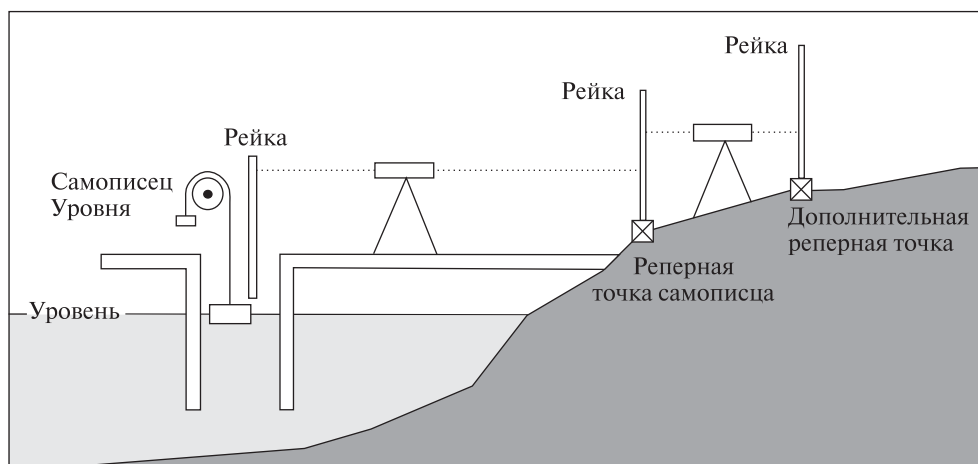


Рис. 2. Схема системы измерения уровня моря с помощью самописца

ных станциях [1]. Измерения производятся относительно ближайших геодезических реперов при помощи самописца уровня, соединённого с поплавком. Этот поплавок помещён в колодец, чтобы избежать влияния на измерения ветрового волнения. Самая распространённая система такого поста изображена на рис. 2.

Топогеодезическая привязка площадки для самописца производится регулярно для учета её оседания. Измеритель уровня может также испытывать вертикальные перемещения в результате тектонических движений. Это усложняет проблему определения глобальных изменений уровня по данным приливных станций. Несмотря на то что станции измерения расположены редко (например, по береговой линии Черного моря — трех десятков постов) такая система предоставляет точные долгопериодические измерения уровня моря, чего пока не могут предложить спутниковые альтиметрические измерения, период наблюдения которых всего порядка 15 лет. В настоящее время альтиметрические методы измерений уровня Мирового океана принято считать менее точными, чем береговые измерения. В связи с этим они, как правило, не применяются для изучения региональных особенностей изменения уровня Мирового океана, а служат для оценки тенденций изменения среднеглобального уровня.

Уровнем моря называется высота поверхности моря, свободной от влияния ветровых волн и зыби, измеряемая относительно условного горизонта. Уровенной поверхностью называется поверхность морей и океанов, нормальная к направлению силы тяжести. Для практических и научных целей принято вычислять следующие характеристики уровней. Средний суточный уровень вычисляется как среднее из ежечасных (при наличии самописца уровня) или срочных (по водомерной рейке) значений уровня за сутки.

Средний месячный уровень вычисляется как среднее из ежемесячных или срочных значений уровня за месяц. Средние месячные уровни одного и того же пункта могут различаться на несколько десятков сантиметров.

Средний годовой уровень определяется как среднее из ежечасных или срочных значений уровня за год. Можно рассчитывать средний годовой уровень из средних месячных уровней. Изменения средних годовых уровней невелики — до 20 см.

Средний многолетний уровень определяется как среднее арифметическое из средних годовых уровней за определённый период времени. При этом, чтобы обеспечить нужную точность, необходимо иметь достаточно продолжительный ряд наблюдений.

Средний многолетний уровень, остающийся неизменным при увеличении ряда наблюдений, включённых в усреднение, называется нормальным уровнем.

О ВОЗМОЖНОЙ ВЗАИМОСВЯЗИ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ РТ-22 С КОЛЕБАНИЕМ УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ — ТЕКТОНИКА ПЛИТ И РАЗЛОМОВ

Результаты измерения положения базы РТ-22.

На рис. 3 приведены изменения координат X , Y , Z положения станции «Симеиз» в период с 1994 по 2010 гг.

Заметно наличие трендов и периодических колебаний координат. При проведении соответствующих процедур интерполяции и сглаживания методом фурье-анализа определялись основные периоды динамики движения РТ-22. На рис. 4 приведены частотные спектры вариации координат РТ-22. Видно, что по координате X максимальная амплитуда изменений приходится на частоту 0.62 (1.61 г.), второй пик соответствует частоте 1.02 (0.97 г.). По координате Y также основной максимум соответствует частоте 0.62, а вторичный максимум 1.005 (0.99 г.). Для координаты Z проявились два равных пика, соответствующие частотам 0.59 (1.7 г.) и 1.02 (0.97 г.).

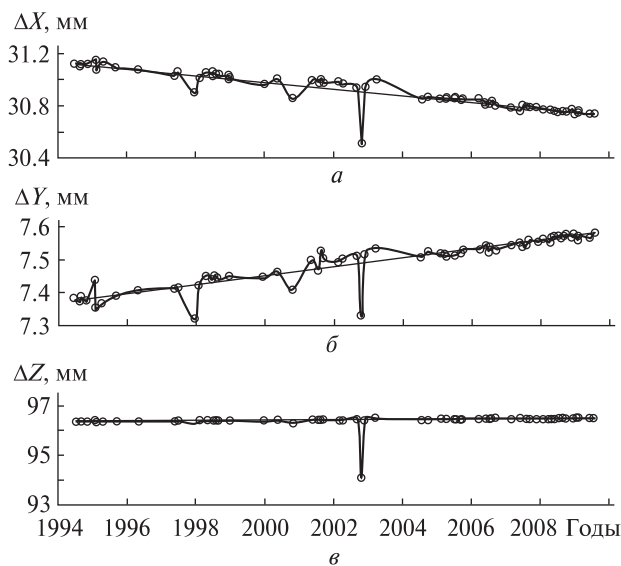


Рис. 3. Изменение положения РТ-22 по координатам X (а), Y (б), Z (в)

Результаты измерений уровня Черного моря.

Наблюдения над уровнем моря в любой точке Мирового океана показывают, что его действительная поверхность не остаётся в покое, а находится в непрерывном колебании под влиянием многих сил и отклоняется от поверхности геоида. Эти силы можно объединить в следующие группы.

Колебания уровня моря, вызванные гидрометеорологическими процессами — атмосферным давлением, ветром, осадками, испарением, речным стоком, тепловыми процессами в море и т. д.

Влияние космических сил на положение уровня моря. Приливообразующие силы Солнца и Луны возбуждают правильные во времени периодические колебания всей поверхности Мирового океана. И только в отдельных, небольших по площади морях, слабо связанных с океаном (Чёрное, Балтийское, Азовское и др.), приливные колебания не превышают 20—30 см.

Колебания уровня под воздействием геодинамических сил. Геодинамические силы вызывают различные по характеру колебания уровня.

Вековые колебания уровня обусловлены медленными вертикальными движениями суши — поднятием или опусканием. Следует иметь в виду, что эти колебания уровня являются кажущимися, так как они происходят не от изменений самого уровня моря, а от поднятия или опускания берега, на котором установлена водомерная рейка.

Тектонические колебания уровня — колебания уровня моря, вызванные землетрясением, моретрясением, извержением подводных и надводных вулканов. Эти явления вызывают резкие и зачастую катастрофические колебания уровня моря (цунами, сильные сейши).

Эвстатические колебания уровня — изменения Мирового океана, связанные с изменениями общего объёма воды в нём, а также с изменениями ёмкости морей и океанов.

Колебания уровня моря, связанные с циклом солнечной активности, обусловлены закономерностями воздействия солнечной активности на климат, определяющих наличие засушливых периодов в максимуме цикла и влажных периодов в минимуме цикла [2].

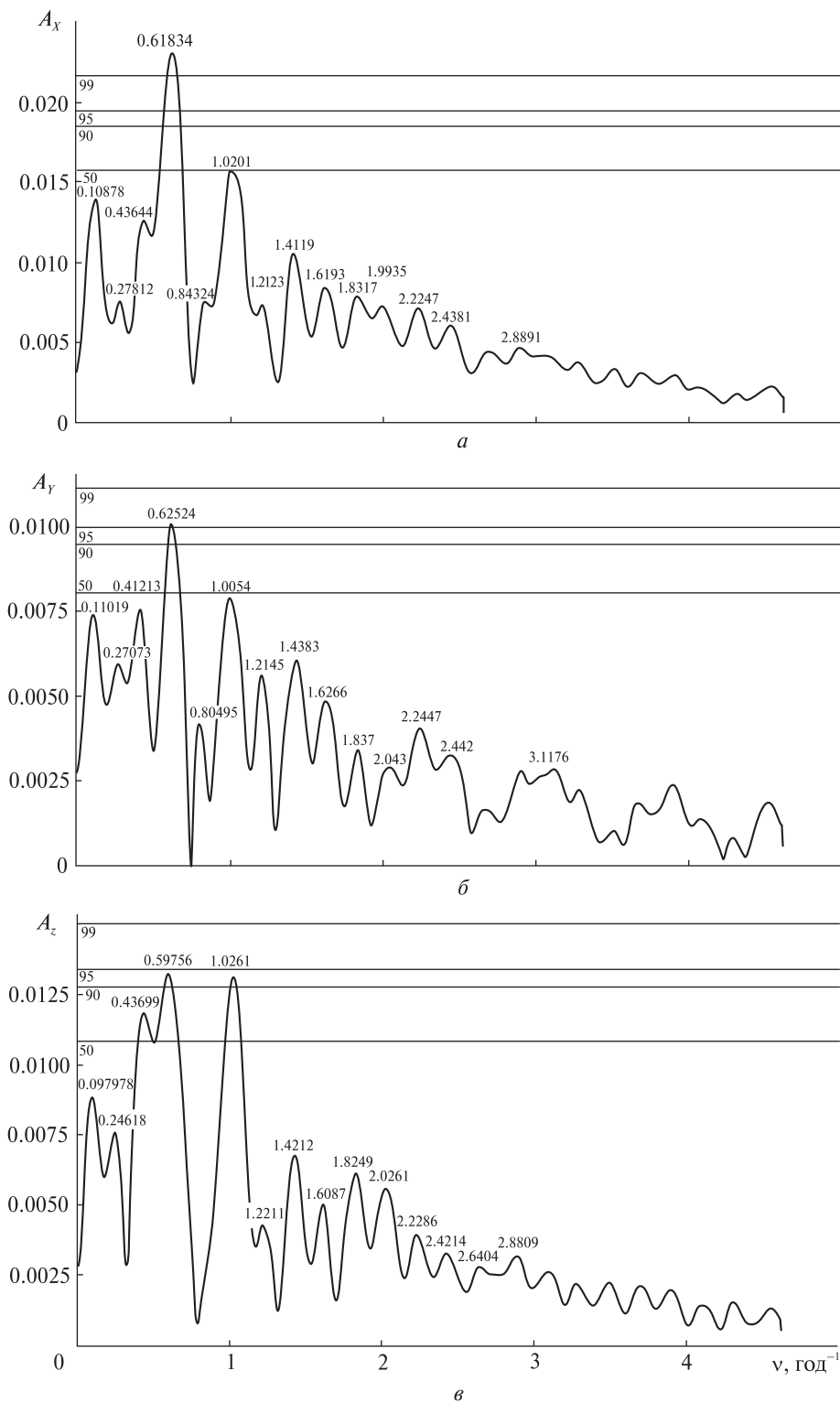


Рис. 4. Частотный спектр изменения положения РТ-22 по координатам X (а), Y (б), Z (в)

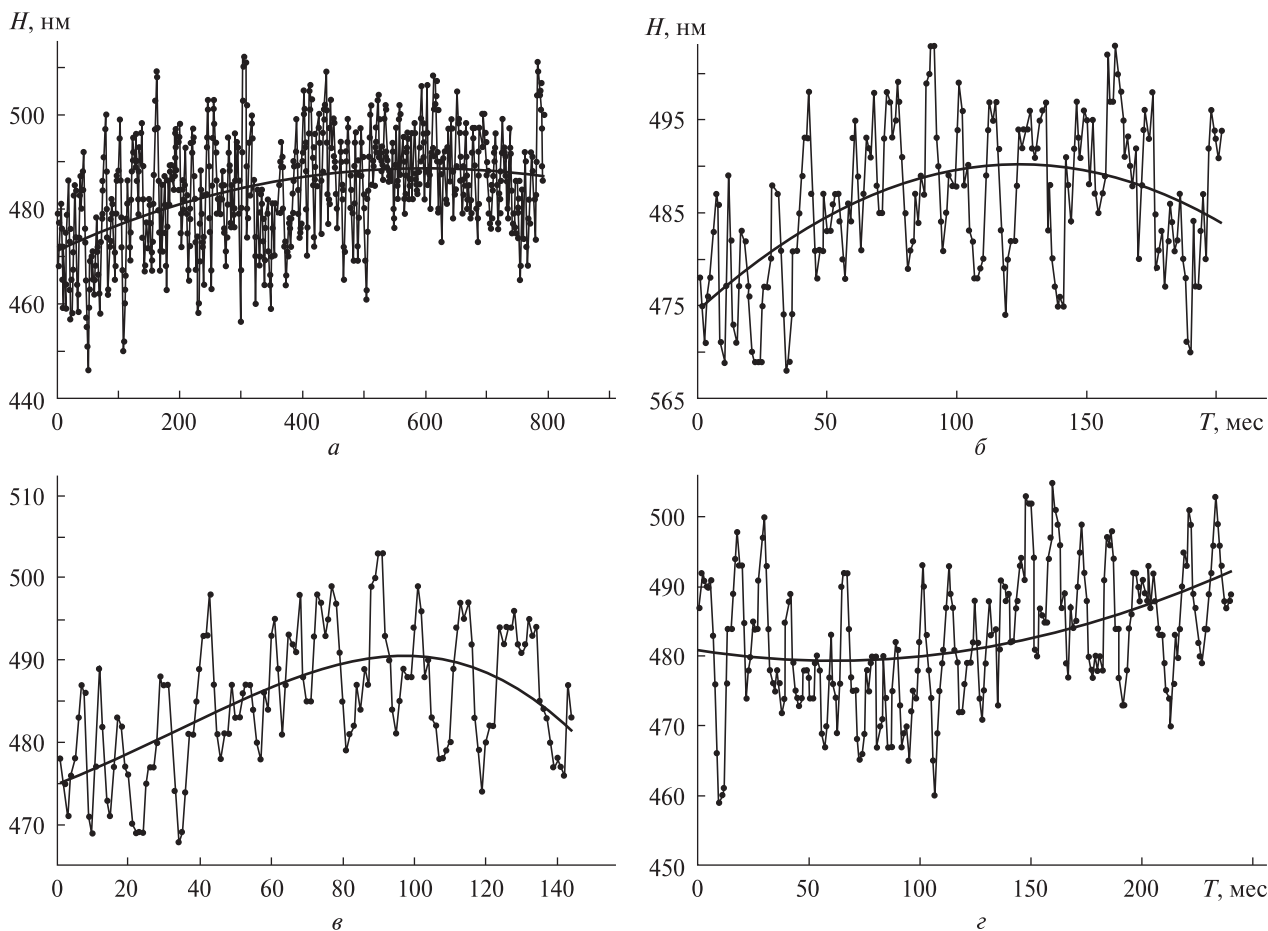


Рис. 5. Результаты измерений уровня моря в Одессе за 1945–2010 гг. (а), в Качивели за 1992–2010 гг. (б), в Ялте за 1992–2003 гг. (е), в Очакове в 1986–2005 гг. (з)

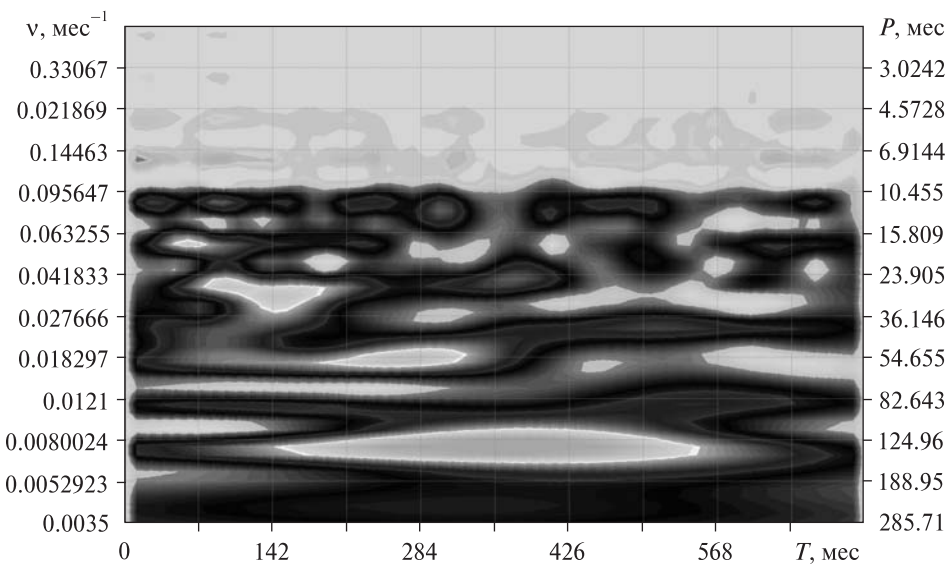


Рис. 6. Вейвлет-анализ изменения уровня моря в Одессе за 1875–2010 гг.

Для анализа использовались данные многолетних наблюдений уровня моря в Одессе, Ялте, Кацивели и Очакове (см. рис. 5).

Результаты обработки временных рядов методом фурье-анализа по всем исследуемым станциям приведены в таблице.

Исследуемые данные были различной продолжительности. Тем не менее, основной годовой период проявился по всем станциям. Наиболее интенсивным он оказался на станции Одесса. Меньшее значение периодограммы соответствует удаленным от речных стоков станциям в Ялте и Кацивели. В тоже время на всех станциях выделяется период в 20 месяцев. По наиболее продолжительным измерениям на станции Одесса обнаруживается наличие 11-летнего периода. Перспективой дальнейшего анализа является

Основные периоды P изменений уровня Черного моря по данным уровневых станций в Очакове, Одессе, Ялте и Кацивели

Станция	P , мес	Величина периодограммы
Очаков (1986—2005 гг.)	6	376
	12	5 000
	14	624
	17	675
	20	698
	40	743
Одесса (1945—2010 гг.)	6	146
	12	12 839
	20	1799
	28	1346
	44	2851
	53	1777
	99	1761
132	2806	
Ялта (1992—2003 гг.)	396	3173
	6	225
	10	282
	12	1 420
	14	586
	21	358
Кацивели (1992—2009 гг.)	29	643
	6	363
	12	1 986
	17	594
	40	754

использование вейвлет-анализа, который позволяет обнаружить динамику появления и изменения основных периодов. Пример эффективности этого метода продемонстрирован на рис. 6, где показаны изменения основных периодов на интервале времени с 1875 г. по настоящее время на станции Одесса. Здесь видно наличие 11-летнего периода, годового периода и других, приведенных в таблице. Однако также хорошо наблюдается «прерывание» отдельных периодов или их дрейф в сторону уменьшения или увеличения. Все эти эффекты станут предметом дальнейшего исследования по всем исследуемым станциям.

ВЫВОДЫ

Применяемый для рассмотрения метод фурье- и вейвлет-анализа исследования колебаний уровня моря и динамики движения базы РТ-22 является перспективным в связи с длительными рядами наблюдений и широким спектром колебаний. Каждый из обнаруженных периодов колебаний уровня моря может стать основой для детального изучения основных причин этим колебаний.

На основе данных обработки по станциям в Одессе, Ялте, Кацивели, Севастополе и Очакове получены следующие результаты.

1. На станциях в Одессе, Ялте, Кацивели и Очакове наблюдаются годовые и полугодовые составляющие. Причиной их появления является сезонная составляющая, которая связана со стоком рек в весенний и летний периоды.

2. Максимальное значение годовой и полугодовой составляющих зафиксированы в Одессе и Очакове. В Ялте и Кацивели их амплитуды имеют меньшее значение. Это связано с близким расположением Одессы и Очакова к стокам крупных рек, таких как Дунай и Южный Буг.

3. Наличие 11-летнего цикла обнаружено в данных наиболее продолжительных измерений уровня моря по станции Одесса (1945—2010 гг.). Основная причина наличия такой периодичности связана с влиянием цикла солнечной активности на динамику атмосферной циркуляции и скорости вращения Земли.

4. Наличие циклов продолжительностью свыше года, наблюдаемых одновременно на раз-

личных станциях, может быть объяснено колебательными процессами, происходящими на разломе, который разделяет акваторию Чёрного моря на западную и восточную части.

5. Наличие периодических изменений координат базы РТ-22 с периодом около одного года говорит о возможности прямой связи с изменениями уровня моря, а период около двух лет может быть обусловлен тектоническими процессами.

1. *Безруков Ю. Ф.* Колебания уровня и волны в Мировом океане: Учеб. пособие. — Симферополь: Таврический Нац. ун-т им. В. И. Вернадского, 2001. — 50 с.
2. *Рябов М. И., Вольвач А. Е., Адобовский В. В. и др.* О зависимости геодинимических характеристик Черного моря по данным многолетнего мониторинга изменений его уровня от фазы солнечного цикла // Тр. X Гаумовской астрономической конференции-школы. — Одесса: Астропринт, 2010. — С. 185.

Надійшла до редакції 01.10.11

*M. I. Ryabov, A. E. Volvach, A. L. Sukharev,
A. I. Donskikh, V. V. Adobovskii, N. Ya. Kuklina,
O. A. Shabalina, G. A. Gubar, S. L. Pokidaylo*

A TEMPORAL SPECTRUM OF THE BLEAK SEA LEVEL VARIATIONS AND A POSSIBLE RELATION BETWEEN THIS SPECTRUM AND DYNAMICS OF CHANGES IN THE POSITION OF THE CRAO RT-22 AS AN ELEMENT OF THE EUROPEAN GEODYNAMIC VLBI NETWORK

Using some results of the international geodynamic VLBI program for 1994—2010, the coordinates of the station Simeiz are determined. The measurement results for the Simeiz RT-22 coordinates are compared with long-term monthly-averaged measurements for the Black Sea level which are performed at the stations located in Odesa, Ochakov, Sevastopol, Yalta and Katsively. All the stations of the sea level measurements have a different water flow, which gives the opportunity to explore global geodynamic processes and a relationship between them and a solar activity cycle. A spectrum of sea level variations in various points shows the presence of periods from one to 11 and 22 years. The periods for each level station separately are estimated with the use of wavelet analysis.