

---

торных объектов, регистрировать растровые изображения, производить пересчёт документа из одной проекции в другую и выявлять ошибки таких пересчётов.

Во-вторых, была написана программа на языке Delphi Version 7.0, чтобы оценить ошибки преобразований проекций и сравнить MapInfo Professional и GeoMedia Professional по точности пересчёта.

В итоге можно сделать следующие выводы.

В GeoMedia Professional пересчёт векторных данных из одной проекции в другую осуществляется без ошибок в любом случае. Тогда как в MapInfo Professional при использовании некоторых проекций среднеквадратическая ошибка пересчёта может достигать 12.07 м после 6 преобразований, но если использовать проекции, находящиеся в близком геометрическом соответствии, то ошибки практически не накапливаются.

Что касается пересчётов растровых изображений, то MapInfo Professional точнее GeoMedia Professional примерно в 100 раз, хотя даже там смещение растра составляет сотни метров.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаевский Л. М. Математическая картография. М.: Златоуст, 1998. 400 с.
2. Кеннеди М., Копп С. Картографические проекции. М.: Дата+, 2002. 114 с.
3. Париков А. О потере точности при пересчёте проекций — <http://gis.report.ru/material.asp?MID=645>
4. GeoMedia Professional: Руководство пользователя — Intergraph Corporation, 1997–2005.

### REFERENCES

1. Bugaevskij L. M. Matematicheskaja kartografija. M.: Zlatoust, 1998. 400 s.
2. Kennedy M., Kopp S. Kartograficheskie proektsii. M.: Data+, 2002. 114 s.
3. Parilov A. O potere tochnosti pri pereschjote proektsij — <http://gis.report.ru/material.asp?MID=645>
4. GeoMedia Professional: Руководство пользователя — Intergraph Corporation, 1997–2005.

УДК 551.465

Т. В. Белоненко

### СПУТНИКОВАЯ АЛЬТИМЕТРИЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

(Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Кадры»  
и грантов РФФИ № 12-05-00008 и № 12-05-00009)

*Рассматриваются возможности спутниковой альтиметрии для исследования изменчивости уровня океана. Даются описания основных типов программ спутниковой альтиметрии и основных массивов данных. На примере северо-западной части Тихого океана показываются возможности использования альтиметрических измерений для исследования нестационарности и статистической пространственной неоднородности океанографических полей.*

**Ключевые слова:** спутниковая альтиметрия, уровень океана, геострофические течения, Тихий океан.

## SATELLITE ALTIMETRY OF THE NORTH-WESTERN PACIFIC

*This article discusses the opportunities of satellite altimetry to study the variability of sea level. It gives a description of the main types of satellite altimetry and fundamental data sets. It shows the possible use of altimetry for research and statistical nonstationarity of spatial heterogeneity of oceanographic fields for the N-W Pacific*

**Keywords:** satellite altimetry, sea levels, geostrophic currents, Pacific.

Освоение и рациональное использование ресурсов и пространств Мирового океана являются важнейшими приоритетами государственной политики не только в настоящее время, но и в будущем. Актуальность этих проблем возрастает в связи с усилением роли Мирового океана как наиболее перспективной сферы экономической деятельности, политического влияния. Программа «Мировой океан», одобренная Указом Президента Российской Федерации от 17.01.97 № 11 и соответствующим Постановлением Правительства Российской Федерации от 22.02.97 № 192, указывает, что комплексное решение проблем изучения, освоения и эффективного использования ресурсов и пространств Мирового океана являются важнейшими приоритетами политики государства не только в настоящее время, но и в будущем. В программе «Мировой океан» указывается, что наметилась тенденция сокращения экспедиционной деятельности, что может отрицательно сказаться на прогнозировании гидрометеорологической обстановки и т. п. Вот почему космическое дистанционное зондирование акваторий Мирового океана и методы анализа спутниковой океанологической информации сегодня являются важнейшими приоритетами государственной политики не только в настоящее время, но и в будущем.

Спутниковые методы получения информации об океане привели к существенным изменениям в современной океанологии. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с морскими или авиационными средствами наблюдений. Среди них — глобальное покрытие земного шара, мгновенная съемка обширных акваторий, наивысшая оперативность в получении данных, возможность ежедневного повтора наблюдений, высокое пространственное разрешение (от 1 км до 60 см), возможность организации оперативного комплексного мониторинга в любой точке Мирового океана, существенно низкая стоимость спутникового мониторинга по сравнению с морскими наблюдениями.

Океанологические съемки и разрезы, выполняемые ежесезонно или ежемесячно, не дают возможности исследовать процессы с характерным временным масштабом даже в несколько десятков суток. Более того, наблюдения на кораблях и на полигонах буйковых станций не показательны для явлений с пространственными масштабами в несколько сотен километров. Следует признать, что даже самые крупные полигоны недостаточно представительны для получения статистически обеспеченных параметров низкочастотных колебаний уровня океана, так как их пространственные масштабы сравнимы с размерами полигонов. Невозможность осуществления наблюдений за течениями с достаточным пространственным разрешением, как и невозможность получить продолжительные ряды наблюдений за уровнем в открытом океане для описания межгодовой, сезонной и синоптической изменчивости стандартными методами, заставляет обращаться к косвенным методам исследования океанологических полей, связанных, прежде всего, с развитием спутниковой альтиметрии, в особенности после появления с искусственных спутников Земли Торекх/Poseidon, ERS-1/2, GFO и Jason-1/2 и др.

---

Объемы информации, получаемой с искусственных спутников Земли, колоссальны, поэтому значительно возрос интерес к вопросам сбора, обработки, анализа этой информации. Однако методы обработки, обобщения и интерпретации спутниковой информации остаются недостаточно развитыми. Громадный поток информации о состоянии морей и океанов требует также и развития методов усвоения и интерпретации этой информации в целях обеспечения мореплавания, рыболовства, экологической безопасности, гидротехнического строительства и добычи минеральных ресурсов. Наряду с традиционными статистическими методами анализа временных рядов в настоящее время все активнее применяются такие методы анализа, как метод изоплет (пространственно-временных разрезов), вейвлет-анализ, на основе которых был создан так называемый метод вейвлет-изоплет.

Спутниковые альтиметрические измерения, доступные сегодня с временной дискретностью 7 суток и пространственной  $1/3$  градуса широты и долготы, позволяют исследовать изменчивость уровня океана в широком диапазоне пространственно-временных масштабов и изучить основные механизмы синоптической, сезонной и межгодовой изменчивости океанологических полей.

Кроме того, уровень океана, являясь, в некотором смысле, интегральной характеристикой, несущей в себе информацию о термодинамическом состоянии Мирового океана, может рассматриваться и как индикатор климатических изменений на Земле. Уровень океана является индикатором не только собственно климатических трендов, но и различных катаклизмов во взаимодействии океана и атмосферы, механизмы возникновения которых также остаются предметом дискуссий.

Проблема изменений климата уже давно переросла чисто научные рамки, государственные границы и является предметом дискуссий на международных саммитах глав стран и в стенах ООН. Важнейшим индикатором климатических тенденций является уровень Мирового океана, изменения которого определяют как многие гидродинамические процессы в самом океане, так и характер его взаимодействия с атмосферой. Известно, что в течение XX в. происходил довольно быстрый рост уровня Мирового океана со скоростью примерно 1,7–1,8 мм/год. Однако в последние годы на основе альтиметрических данных установлено, что рост среднего уровня Мирового океана заметно повысился и составляет уже 3,2 мм/год, при этом изменение уровня в океане происходит крайне неравномерно в региональном аспекте. Исследование закономерностей межгодовых колебаний уровня Мирового океана в условиях современных изменений климата и механизмов формирования региональных особенностей колебаний уровня в различных бассейнах является важнейшей задачей океанологических исследований XXI века.

Представления об изменчивости уровня в северо-западной части Тихого океана были до недавнего времени основаны на данных наблюдений за уровнем на береговых станциях (мареографах). Эти измерения репрезентативны для узкой прибрежной зоны и не показательны для открытых районов этих морей. В то же время спутниковые альтиметрические измерения, обеспечивая практически полное пространственное покрытие исследуемого региона с точностью, соответствующей требованиям океанологической практики, позволяют выявить пространственные неоднородности в картине изменчивости уровня и рассматриваются сейчас как основной источник непрерывно поступающей информации об уровне океана.

Исследование природы колебаний уровня поверхности необходимо для понимания причин наблюдаемых изменений в климатической системе бассейна Тихого океана. Обобщение предыдущих исследований об уровне Тихого океана и их развитие на основе спутниковой альтиметрической информации позволит дать новые основы интерпретации

---

изменчивости физических процессов в океане для решения прикладных задач промысловой океанографии в этих важных для морского промысла районах.

Колебания уровня моря постоянно привлекают внимание исследователей, их анализу посвящена обширная литература [1–12; 18–24; 26; 27].

Существуют два принципиально различных метода наблюдений за морским уровнем: во-первых, береговые футшточные или мареографные измерения уровня, по которым имеются длительные ряды наблюдений (именно на этих материалах основаны современные представления о его изменчивости), и, во-вторых, спутниковая альтиметрия. Наблюдения на мареографных станциях имеют значительно большую продолжительность, чем ряды альтиметрических наблюдений, чья история начинается с запуска спутника Тореx/Poseidon в 1992 г. и продолжается серией космических миссий, несущих альтиметры: GEOSAT (1985), ERS-1 (1991), TOPEX/Poseidon (1992), ERS-2 (1995), GFO-1 (GEOSAT Follow On) (1998), Jason-1 (2001), Envisat (2002), OSTM/Jason-2 (2008)<sup>1</sup>.

Спутниковые альтиметрические измерения позволяют исследовать изменчивость уровенных полей в широком диапазоне пространственно-временных масштабов.

Основные программы спутниковой альтиметрии можно условно разделить на два типа:

**1. Геодезические** — направлены на решение геодезических задач: уточнение формы и высот геоида и гравитационного поля Земли. При этом параметры орбиты подбираются таким образом, чтобы плотность покрытия подспутниковыми трассами (треками) Мирового океана была максимальной — в пределах нескольких километров.

**2. Изомаршрутные** — направлены на осуществление мониторинга изменчивости высоты морской поверхности (спутники GEOSAT (1985), ERS-1 (1991), TOPEX/Poseidon (1992), ERS-2 (1995), GFO-1 (GEOSAT Follow-On) (1998), Jason-1 (2001), Envisat (2002), OSTM/Jason-2 (2008)). Круг задач, которые могут решаться в рамках этих программ, достаточно широк — от различных океанологических исследований до изучения глобальных изменений климата. Изомаршрутные съемки предполагают повторяемость трасс в пределах  $\pm 1$  км через определенный период (цикл) времени. Они позволяют реализовать режим повторных измерений по сетке равномерно расположенных по поверхности Земли треков.

Изомаршрутная программа GEOSAT, по мнению многих специалистов, стала началом новой эры в развитии спутниковой океанологии, тогда точность определения измерения альтиметра составляла 7 см [13]. Спутники ERS1/2, GFO-1 и Envisat имеют инструментальную точность альтиметра не превышающую 5 см. Спутники международной программы мониторинга поверхности океана TOPEX/Poseidon, Jason-1 и OSTM/Jason-2 обеспечивают точность около 2 см. Это специализированная программа альтиметрических измерений США (NASA<sup>2</sup>) и Франции (CNES<sup>3</sup>), основная цель которой — исследование мезомасштабной изменчивости топографии морской поверхности и динамики океана [17].

Альтиметры проводят измерения вдоль подспутниковых треков с временной дискретностью в 1 секунду, что, исходя из средней скорости полёта спутника, соответствует пространственной дискретности измерений примерно в 7 км. Тем не менее пространственное разрешение этих измерений для земного шара ограничивается близостью треков друг к другу, а промежуток времени между измерениями в одной и той же точке зависит от цикла повторяемости треков спутника. Так, например, повторяемость треков TOPEX/Poseidon составляет 9,92 суток, а расстояние между треками на экваторе — 310 км. Для спутников ERS1/2 эти показатели составляют 35 суток и 80 км, а для GEOSAT и GFO — 17 суток и 165 км соответственно. То есть, чем короче цикл повторяемости треков, тем меньше пространственное разрешение измерений.

---

Архив альтиметрической информации **AVISO** (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data)<sup>4</sup> проекта **DUACS** (Data Unification and Altimeter Combination System) является частью сегмента обработки данных мультимиссионной спутниковой альтиметрии (SSALTO), реализуемого французским космическим агентством. **AVISO** предоставляет пользователю информацию об уровне океана с различной степенью обработки исходных измерений: как вдольтрековые, так и комбинированные данные в узлах регулярной сетки. Альтиметрия даёт почти глобальное покрытие и высокую точность измерений.

Для исследования изменчивости полей уровенной поверхности используются различные типы данных: **SSH (Sea Surface Height)** — высота морской поверхности относительно отсчетного эллипсоида, она рассчитывается по высоте спутника над морем; **ADT (Absolute Dynamic Topography)** — абсолютная динамическая топография, высота морской поверхности относительно геоида и **SLA (Sea Level Anomaly)** — относительная динамическая топография, отклонение от средней высоты морской поверхности. По этим данным об уровне океана могут быть рассчитаны геострофические течения, которые могут быть получены из уравнений движения в предположении о балансе сил гидродинамического давления и силы Кориолиса в пренебрежении силами инерции, фрикционными и ветровыми составляющими. Геострофические течения, рассчитанные по абсолютной динамической топографии, описывают крупномасштабную океаническую циркуляцию, отражают все главные океанические структуры. Пространственно-временная изменчивость аномалий геострофических скоростей, рассчитанная по значениям относительной динамической топографии, дает информацию о синоптических вихрях и низкочастотных волнах, которые, безусловно, должны проявляться и в течениях.

Таким образом, спутниковая альтиметрия дает принципиально новые, уникальные возможности исследований полей уровня Мирового океана в широком диапазоне пространственно-временных масштабов.

На основе альтиметрических данных об уровне (абсолютная и относительная динамическая топография) для северо-западной части Тихого океана дано представительное статистическое описание этих полей с различными масштабами осреднения. Для каждого пункта 1/3 градусной сетки акватории, ограниченной 30–60° с. ш. и 125–200° в. д., за период 1992–2007 гг. были рассчитаны простейшие статистические характеристики (математического ожидания, среднеквадратического отклонения, коэффициента вариации), показывающие отношение среднеквадратического отклонения к математическому ожиданию, а также геострофические течения. Использовались различные масштабы осреднения: осреднение за весь рассматриваемый период 1992–2007 гг., среднегодовые осреднения (рассматривались 16 лет), характеризующие межгодовую изменчивость, и среднемесячные осреднения, характеризующие многолетний сезонный ход. Все три типа осреднения использовались также и для расчета геострофических течений.

На основании этих расчетов построены карты с использованием картографической программы GMT [25], которые опубликованы в виде атласа [1]. «Атлас изменчивости уровня северо-западной части Тихого океана» дает представительное описание изменчивости нестационарности и статистической неоднородности изменчивости уровня в северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морей. Это достигается путем расчета и картирования полей разнообразных характеристик колебаний уровня океана: статистических показателей (математическое ожидание, тренды, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации), а также полей геострофических течений и дивергенции полных потоков — с различными масштабами осреднения (многолетнее, годовое и месячное осреднение). На основе гармонического, спектрального и вейвлет-анализа дано описание се-

зонной изменчивости годовых и полугодовых колебаний уровня моря. В узлах регулярной сетки с шагом  $1/3$  градуса широты и долготы выделены годовые и полугодовые колебания уровня моря, картированы их амплитуды и фазы.

Спутниковая альтиметрическая информация позволяет исследовать дивергенцию полных потоков. Интерпретация физических механизмов может быть следующей.

Рассмотрим дивергенцию полных потоков, рассчитанную по скорости изменения уровня  $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ . Для интересующих нас масштабов времени, пренебрегая пресным балансом, из уравнения неразрывности массы, проинтегрированного от поверхности моря до дна  $z = H(x, y)$ , получим

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -\operatorname{div} \bar{V} H - \int_0^H \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} dz,$$

где  $\bar{V}$  — средняя по вертикали скорость течения,  $H$  — глубина моря,  $\bar{V} H$  имеет смысл полного потока [7].

Первое слагаемое в правой части этого уравнения имеет смысл скорости за счет динамического изменения уровня, а второе слагаемое характеризует скорость стерического изменения уровня моря.

В условиях, когда стерические эффекты малы,

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -\operatorname{div} \bar{V} H.$$

Если дивергенция полного потока положительна, происходит понижение уровня моря, когда она отрицательна, уровень повышается.

Для постоянной глубины уравнение неразрывности этой системы можно записать в виде:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -H \times \operatorname{div} \bar{V},$$

где  $\operatorname{div} \bar{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$  — дивергенция скорости течения  $\bar{V}$ , а  $\bar{V}$  — проинтегрированный по глубине средний по вертикали вектор скорости течения.

При дивергенции полных потоков ( $\operatorname{div} \bar{V} H > 0$ ) уровень моря понижается и формируется зона, в которой происходит опускание вод на глубину (даунвеллинг). При конвергенции полных потоков ( $\operatorname{div} \bar{V} H < 0$ ) уровень моря повышается и формируется зона, где происходит подъем к поверхности вод с глубины (апвеллинг).

В тех областях, в которых дивергенция равна нулю, уровень не изменяется. Такие области в теории векторного поля называются соленоидальными, а поток такого поля через любой океанологический разрез равен нулю.

В атласе по альтиметрическим данным рассчитывались и картировались скорости изменения уровня  $\frac{\partial \xi}{\partial t}$  для северо-западной части Тихого океана.

По результатам гармонического анализа колебаний уровня и приливных течений на основе реализации приливной гидродинамической модели рассчитаны гармонические постоянные и построены котидальные карты и карты амплитуд волн приливов  $M_2, S_2, K_2, N_2$ ,

---

$K_1, O_1, Q_1, P_1$ ; котидальные карты и карты амплитуд долгопериодных приливов  $M_f$  и  $M_m$ , карты приливных колебаний  $\frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}}$ . Для главных волн прилива построены карты скорости, фазы и направления максимальных приливных течений.

Приведенное описание показывает уникальные возможности, которые дает использование спутниковой альтиметрической информации в океанологических исследованиях. Современная наука о Мировом океане немыслима без учета спутниковых методов, а спутниковая альтиметрия является важнейшим инструментом для исследования синоптической, сезонной и межгодовой изменчивости уровня в океане, а также анализ физических механизмов, формирующих эту изменчивость.

### ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>1</sup> В скобках указан год запуска спутника.

<sup>2</sup> Nasa (*National Aeronautics and Space Administration*) — Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США.

<sup>3</sup> CNES (*Centre national d'études spatiales*) — Национальный центр космических исследований Франции.

<sup>4</sup> <http://www.aviso.oceanobs.com/>

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоненко Т. В., Колдунов А. В., Колдунов В. В., Май Р. И., Рубченя А. В., Старицын Д. К., Фукс В. Р. Атлас изменчивости уровня северо-западной части Тихого океана. СПб.: Изд-во СММО-ПРЕСС. 2011. 304 с.
2. Белоненко Т. В., Колдунов В. В., Старицын Д. К., Фукс В. Р., Шилов И. О. Изменчивость уровня северо-западной части Тихого океана. СПб.: Изд-во СММО-ПРЕСС, 2009. 309 с.
3. Дуванин А. И. Уровень моря. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 59 с.
4. Малинин В. Н. Изменчивость глобального водообмена в условиях меняющегося климата // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 1. С. 15–28.
5. Малинин В. Н. Уровень океана: настоящее и будущее. СПб.: РГГМУ, 2012. 260 с.
6. Малинин В. Н., Шевчук О. И. Эвстатические колебания уровня Мирового океана в современных климатических условиях // Известия РГО. 2008. Т. 140. Вып. 4. С. 20–30.
7. Фукс В. Р. Гидродинамические основы интерпретации альтиметрических съёмки морской поверхности // Колебания уровня в морях: Сб. науч. трудов. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. С. 79–92.
8. Фукс В. Р. Уровень Мирового океана как индикатор глобального потепления // География и современность: Сб. СПб., 2005. Вып. 10. С. 73–93.
9. Antonov J. I., Levitus S., Boyer T. P. Steric sea level variations during 1957–1994: importance of salinity // J. Geophys. 2002. Res. 107, 8013.
10. Cabanes C., Cazenave A., Le Provost C. Sea level rise during past 40 years determined from satellite and in situ observations // Science 2001. 294. 840–842.
11. Cazenave A et al. Sea level variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from satellite altimetry and tide gauges // Global and Planetary Change. 2002. Vol. 34 (1–2). Sept. P. 59–86.
12. Cazenave A. et al. Global mean sea level changes observed by Topex–Poseidon and ERS-1 // Phys. Chem. 1998. Earth 23. P. 1069–1075.
13. Denker D., Rapp R. H. Geodetic and Oceanographic Results from the Analysis of One Year of Geosat Data // J. Geophys. Res. 1990. 95 (C8). 13151–168.
14. Douglas B. C., Peltier W. R. The puzzle of global sea-level rise // Phys. Today. 2002. 55. 35–40.
15. Douglas B. C. Global sea level acceleration // J. Geophys. Res. 1992. 97. 12699–706.
16. Douglas B. C. Global sea level acceleration // J. Geophys. Res. 1992. 97. 12699–706.
17. Fu L.-L. et al. TOPEX/POSEIDON mission overview // J. Geophys. Res. 1994. 99 (C12). 24369–381.
18. Lisitzin E. Sea-level changes. Amsterdam: Elsevier, 1974. 286 p.

- 
19. *Miller L., Douglas B.* On the rate and causes of twentieth century sea-level rise // *Phil. Trans. Roy. Soc. A.* 2006. 364. 805–820 doi:10.1098/rsta.2006.1738.
  20. *Mitchum G. T., Cheney R., Fu L.-L.* The future of sea surface height observations. In *Observing the oceans in the 21st century* (ed. C. J. Koblinsky & N. R. Smith). Melbourne, Australia: Bureau of Meteorology, 2001. P. 604.
  21. *Munk W.* Twentieth century sea level: an enigma // *Proc. Nat. Ac. Sci.* 2002. 99. 6550–6555 (doi:10.1073/pnas.092704599).
  22. *Munk W.* Ocean freshening, sea level rising // *Science.* 2003. 300. 2041–2043.
  23. *Pugh D. T.* *Tides, Surges and Mean Sea-Level.* // John Wiley & Sons. 1987. 472 p.
  24. *Pugh D. T.* *Changing sea levels. Effects of tides, weather and climate* // Cambridge University Press. 2004. 280 p.
  25. *Wessel P., Smith W. H. F.* Free software helps map and display data // *EOS Trans. AGU.* 1991. 72. P. 441.
  26. *Woodworth P. L.* The worldwide distribution of the seasonal cycle of mean sea level. *Inst. Oceanogr. Sci. Rep.* 1984. No. 190. 94 p.
  27. *Woodworth P. L.* Some important issues to do with long-term sea level change // *Phil. Trans. R. Soc. A.* 2006. 364. P. 787–803.

## REFERENCES

1. *Belonenko T. V., Koldunov A. V., Koldunov V. V., Maj R. I., Rubchenja A. V., Staricyn D. K., Fuks V. R.* Atlas izmenchivosti urovnja severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana. SPb.: Izd-vo SMIO-PRESS. 2011. 304 s.
2. *Belonenko T. V., Koldunov V. V., Staricyn D. K., Fuks V. R., Shilov I. O.* *Izmenchivost' urovnja severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana.* SPb.: Izd-vo SMIO-PRESS, 2009. 309 s.
3. *Duvanin A. I.* *Uroven' morja.* L.: Gidrometeoizdat, 1956. 59 s.
4. *Malinin V. N.* *Izmenchivost' global'nogo vodoobmena v uslovijah menjajuwegosja klimata* // *Vodnye resursy.* 2009. T. 36. № 1. S. 15–28.
5. *Malinin V. N.* *Uroven' okeana: nastojashchee i budushchee.* SPb.: RGGMU, 2012. 260 s.
6. *Malinin V. N., Shevchuk O. I.* *Evstatcheskie kolebanija urovnja Mirovogo okeana v sovremennyh klimaticheskikh uslovijah* // *Izvestiya RGO.* 2008. T. 140. Vyp. 4. S. 20–30.
7. *Fuks V. R.* *Gidrodinamicheskie osnovy interpretatsii al'timetriceskikh sjjomok morskoj poverhnosti* // *Kolebanija urovnja v morjah: Sb. nauch. trudov.* SPb.: Gidrometeoizdat, 2003. S. 79–92.
8. *Fuks V. R.* *Uroven' Mirovogo okeana kak indikator global'nogo poteplenija.* 2005 // *Geografija i sovremennost': Sb. SPb. Vyp. 10.* S. 73–93.
9. *Antonov J. I., Levitus S., Boyer T. P.* Steric sea level variations during 1957–1994: importance of salinity // *J. Geophys. Res.* 2002. Res. 107, 8013.
10. *Cabanec C., Cazenave A., Le Provost C.* Sea level rise during past 40 years determined from satellite and in situ observations // *Science* 2001. 294. 840–842.
11. *Cazenave A et al.* Sea level variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from satellite altimetry and tide gauges // *Global and Planetary Change.* 2002. Vol. 34 (1–2). Sept. P. 59–86.
12. *Cazenave A. et al.* Global mean sea level changes observed by Topex–Poseidon and ERS-1 // *Phys. Chem.* 1998. Earth 23. P. 1069–1075.
13. *Denker D., Rapp R. H.* Geodetic and Oceanographic Results from the Analysis of One Year of Geosat Data // *J. Geophys. Res.* 1990. 95 (C8). 13151–168.
14. *Douglas B. C., Peltier W. R.* The puzzle of global sea-level rise // *Phys. Today.* 2002. 55. 35–40.
15. *Douglas B. C.* Global sea level acceleration // *J. Geophys. Res.* 1992. 97. 12699–706.
16. *Douglas B. C.* Global sea level acceleration // *J. Geophys. Res.* 1992. 97. 12699–706.
17. *Fu L.-L. et al.* TOPEX/POSEIDON mission overview // *J. Geophys. Res.* 1994. 99 (C12). 24369–381.
18. *Lisitzin E.* *Sea-level changes.* Amsterdam: Elsevier, 1974. 286 p.
19. *Miller L., Douglas B.* On the rate and causes of twentieth century sea-level rise // *Phil. Trans. Roy. Soc. A.* 2006. 364. 805–820 doi:10.1098/rsta.2006.1738.
20. *Mitchum G. T., Cheney R., Fu L.-L.* The future of sea surface height observations. In *Observing the oceans in the 21st century* (ed. C. J. Koblinsky & N. R. Smith). Melbourne, Australia: Bureau of Meteorology, 2001. P. 604.



- 
21. Munk W. Twentieth century sea level: an enigma // Proc. Nat. Ac. Sci. 2002. 99. 6550–6555 (doi:10.1073/pnas.092704599).
  22. Munk W. Ocean freshening, sea level rising // Science. 2003. 300. 2041–2043.
  23. Pugh D. T. Tides, Surges and Mean Sea-Level. // John Wiley & Sons. 1987. 472 p.
  24. Pugh D. T. Changing sea levels. Effects of tides, weather and climate // Cambridge University Press. 2004. 280 p.
  25. Wessel P., Smith W. H. F. Free software helps map and display data // EOS Trans. AGU. 1991. 72. P. 441.
  26. Woodworth P. L. The worldwide distribution of the seasonal cycle of mean sea level. Inst. Oceanogr. Sci. Rep. 1984. No. 190. 94 p.
  27. Woodworth P. L. Some important issues to do with long-term sea level change // Phil. Trans. R. Soc. A. 2006. 364. P. 787–803.

УДК 551.465

*Г. А. Власова, А. М. Полякова*

### **ЭНЕРГОАКТИВНАЯ ЗОНА ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ПАЦИФИКЕ**

*В последнее время наибольшую актуальность приобрела концепция энергоактивных зон океана, в области которых концентрируется огромная энергия взаимодействия атмосферы и гидросферы. Северо-западная часть Тихого океана — яркий пример наличия указанной энергоактивной зоны океана, где проявляется вся специфика гидрометеорологической ситуации. Северо-западная часть Тихого океана расположена на основных путях движения внетропических циклонов по различным траекториям в генеральном направлении с юго-запада на северо-восток. Здесь сосредоточивается значительная концентрация кинетической энергии всей северной половины Тихого океана ( $294 \cdot 10^{25}$  эрг), которая влияет на термогидродинамические процессы в океане, проявляясь в наличии зон крупных аномалий поверхностной температуры океана, ярко выраженных гидродинамических зон с мощным вихреобразованием и т. д.*

**Ключевые слова:** северо-западная часть Тихого океана, энергоактивная зона океана, аномалии поверхностной температуры океана, циркуляция вод.

*G. Vlasova, A. Polyakova*

### **ENERGY-ACTIVE ZONE OF THE OCEAN AND ATMOSPHERE IN NW PACIFIC**

*Recently, the concept energy-active zones of ocean has become of the greatest relevance in the field of which huge energy of interaction of the atmosphere and hydrosphere concentrates. The NW Pacific is a vivid example of the energy-active zones of the ocean where all specificity of the hydrometeorological situation is shown. The NW Pacific is located on the main ways of movement of the outside tropical cyclones along different trajectories in a general direction from the southwest to northeast. Here a significant concentration of kinetic energy of all North Pacific ( $294 \times 10^{25}$  ergs) is focused which influences all thermo-hydrodynamical processes in the ocean. This is manifested in the emergence of the zones of the ocean surface temperature anomalies, distinct hydrodynamic zones with a powerful vortex formation, etc.*

**Keywords:** NW Pacific, energy-active zone of the ocean, the surface temperature anomalies of the ocean, water circulation.