

ВОЛНОВОЙ КЛИМАТ КАСПИЙСКОГО МОРЯ. ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ ПО ВЕТРУ ДЛЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

© 2019 г. Л. И. Лопатухин^{1, 2}, Н. А. Яицкая^{3, 4, 5*}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
кафедра океанологии, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий,
механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

³ ФИЦ Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

⁴ Сочинский научно-исследовательский центр РАН, Сочи, Россия

⁵ Институт природно-технических систем, филиал Сочи, Россия

*e-mail: yaitskayan@gmail.com

Поступила в редакцию 17.01.2017 г.

После доработки 12.05.2017 г.

Основной этап современного подхода к расчету волнового климата включает создание базы данных по волнению на основе численного гидродинамического моделирования. Входными данными для ретроспективных расчетов являются сведения о ветре в системах глобального реанализа гидрометеорологической информации. При этом реанализ, особенно при воспроизведении экстремальных статистик режима волнения, следует подвергать корректировке с учетом региональных особенностей атмосферных процессов. Специфика любой акватории требует предварительной адаптации гидродинамических моделей к конкретным условиям, результаты которой проверяются путем сопоставления модельных расчетов с данными натурных наблюдений. Результаты расчетов по гидродинамическим моделям обобщаются с использованием набора вероятностных моделей различного класса.

Ключевые слова: ветровое волнение, ветер, реанализ, данные наблюдений, математическое моделирование, Каспийское море

DOI: https://doi.org/10.31857/S_0030-15745912-21

ВВЕДЕНИЕ

Интересы мореплавания и освоение ресурсов Мирового океана требуют детальной информации о волнении. Не является исключением и Каспийское море, в котором активно осваиваются месторождения нефти и газа (например, в российских водах месторождения: «Широтное», «Ракушечное», «Корчагина» и т.д. в Северном Каспии; «Центральное», «Хвалыинское», «Ялома» и др. в Среднем Каспии). Современная концепция обеспечения волновой информацией включает, в том числе, создание базы данных путем расчетов волнения по численным гидродинамическим моделям. Используемые гидродинамические модели волнения основаны на решении уравнения баланса волновой энергии в спектральной форме, поэтому

их называют спектральными, а волновой климат на основе результатов такого моделирования — «спектральным волновым климатом».

Общая схема расчета волнового климата включает следующие основные этапы:

- подготовку входной информации (данные батиметрии, ледовые условия, поля ветра и т.д.) для расчетов волнения;

- расчет (hindcasting) спектров волнения и видимых элементов волн в узлах регулярной пространственно-временной сетки по гидродинамическим моделям;

- статистическое обобщение результатов расчетов волнения посредством вероятностных (стохастических) моделей.

Каждый этап может быть подразделен на различное количество ступеней.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННОСТИ РЕЖИМА ВЕТРА И ВОЛНЕНИЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Каспийское море представляет собой самое большое в мире бессточное озеро, названное морем из-за больших размеров и гидрометеорологических характеристик, присущих морским бассейнам. Протяженность моря по меридиану составляет около 1200 км, средняя и наибольшая ширина — порядка 300 и 550 км соответственно. По физико-географическим и морфологическим особенностям Каспийское море подразделяют на три больших района: северный, средний и южный. Из этих частей наиболее мелководным является Северный Каспий, средняя его глубина — около 5 м, а наибольшая — 35 м. Тогда как максимальные глубины Среднего и Южного Каспия составляют 788 и 1025 м соответственно. В 1974 г. издано справочное пособие по режиму ветра и волнения в океанах и морях [4], где по данным визуальных наблюдений за волнением и измерений ветра в табличном и графическом виде представлены сведения о повторяемости ветра и волнения для трех больших районов Каспия. На картах волнения в [7] акватория

Среднего и Южного Каспия представлена более подробно, чем в работе 1974 г. [4], но Северный Каспий рассматривается как единый район. Очевидно, что при указанных отличиях в глубинах, режим волнения Северного Каспия должен быть весьма разнообразным. В фундаментальном издании [6] расчеты режима волнения выполнены в основном по данным измерений ветра на отдельных метеостанциях. Появление данных реанализа, совершенствование гидродинамических моделей и развитие компьютерных технологий определили современный подход к расчету режима волнения. Начиная с 2000 г. Российский морской регистр судоходства возобновил работы по подготовке нового поколения справочников по режиму ветра и волнения морей [3, 9]. В 2003 г. был издан первый из серии современных справочников по режиму ветра и волнения Каспийского моря, а затем и справочники по другим морям [8]. В них используются современные технологии, включая откорректированные данные реанализа, однако, применяется единая для всего Каспийского моря поправка.

На рис. 1 представлена принципиальная схема описания волнового климата: на основе традиционных источников данных и в рамках современной концепции.

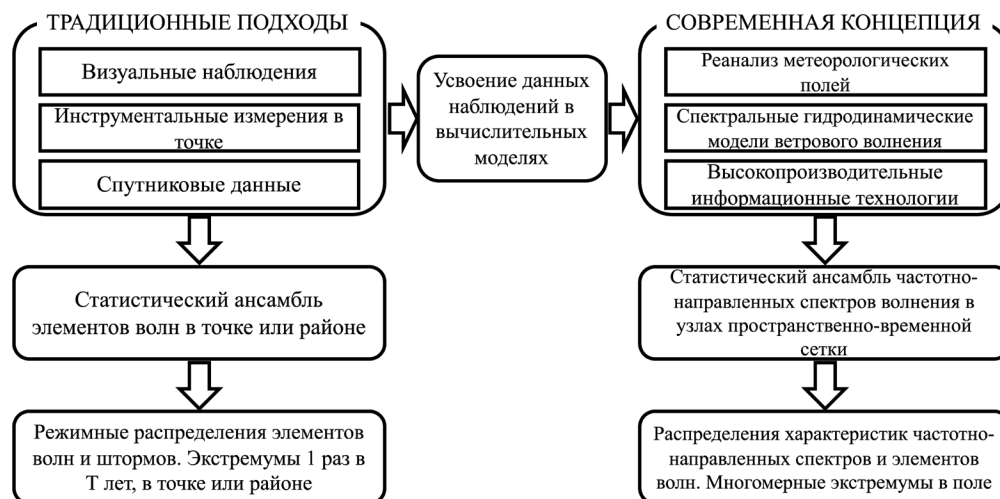


Рис. 1. Принципиальная схема описания волнового климата.

ВЕТЕР ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА И ИЗМЕРЕНИЯМ НА МЕТЕОСТАНЦИЯХ

В качестве исходных материалов для подготовки информационной базы полей ветра над акваторией Каспийского моря использовался фрагмент массива данных реанализа NCEP/NCAR [15]. База данных реанализа NCEP/NCAR содержит метеорологические поля

с 1948 г. по настоящее время. Дискретность данных составляет 6 часов, поля атмосферного давления представлены на декартовой сетке $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, компоненты скорости ветра на высоте 10 м над уровнем моря — на гауссовой сетке с разрешением по широте около 1.9° . Базы данных обновляются ежемесячно. Основным недостатком данных реанализа полей ветра над морем является зависимость

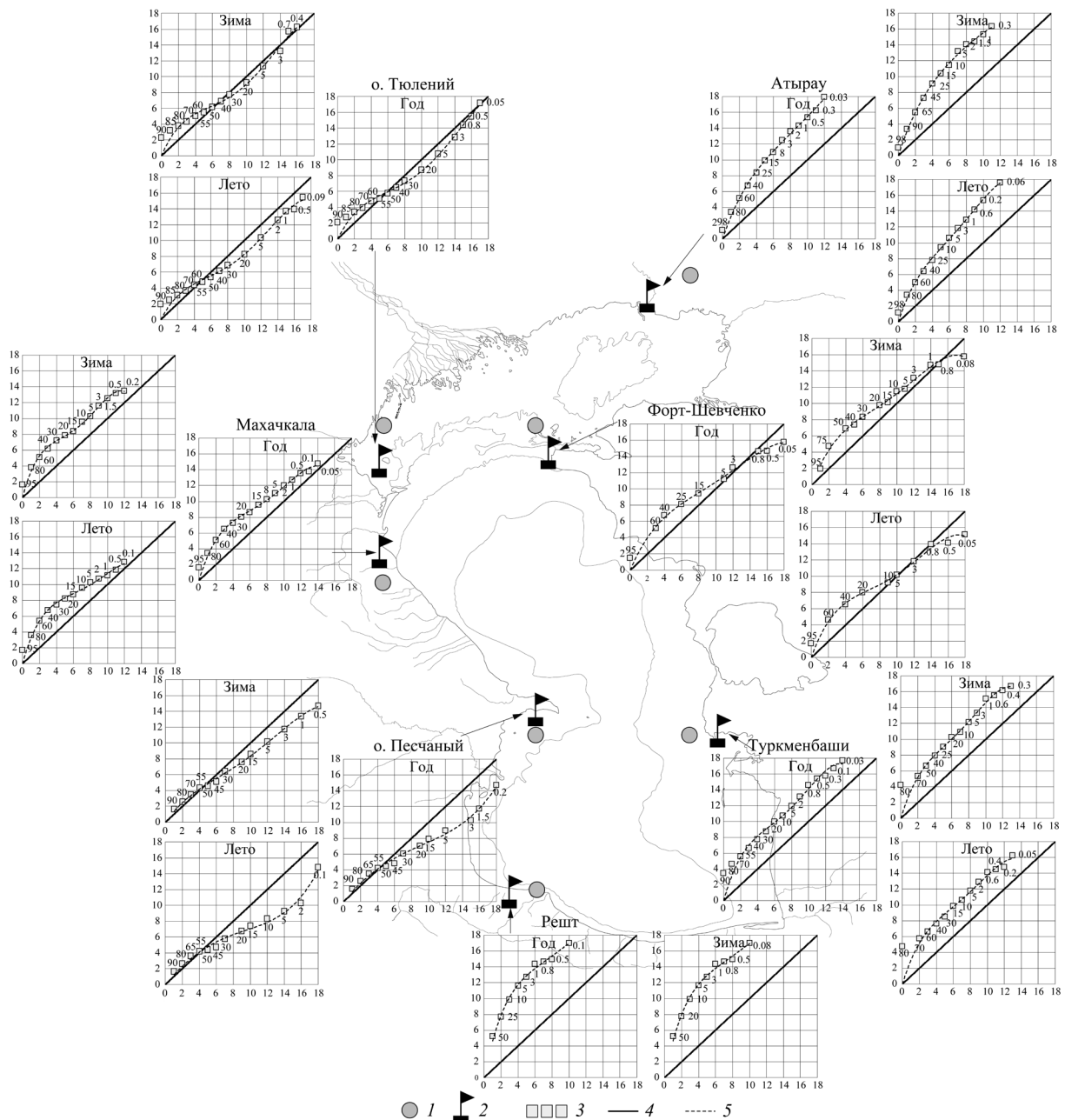


Рис. 2. Квантильные биплоты срочных значений модуля скорости ветра (V , м/с) по данным реанализа NCEP/NCAR в узлах сетки и измерениям на ГМС в целом за год и для двух сезонов (зима и лето):

1 – узлы сетки реанализа, 2 – гидрометеостанции, 3 – квантили, 4 – биссектриса координатного узла,

5 – линия регрессии (калибровочная кривая). Ось абсцисс – данные наблюдений; ось ординат – реанализ.

Цифры на графике соответствуют обеспеченности (%) квантилей. Зима: ноябрь – март. Лето: апрель – октябрь.

их качества от обеспеченности расчетного района наблюдениями. При систематическом отличии данных реанализа от наблюдений и высокой статистической связи между ними их можно «откорректировать» с помощью регрессионной модели, коэффициенты которой идентифицируются по высококачественным данным измерений. Смысл калибровки состоит в том, что при расчете скорости приводного ветра по полям давления

используется соотношение $V = kV_g$, где k – коэффициент перехода, связанный с характеристиками стратификации атмосферы в слое непосредственно над подстилающей поверхностью, V_g – скорость градиентного ветра. Величина k зависит от множества условий, и сама может рассматриваться как случайный фактор. Калибровка подразумевает формальную замену процедуры прямых измерений скорости ветра над морем процедурой косвенных измерений.

Сопоставление метеоданных на отдельных станциях и реанализа показало (рис. 2), что для всей акватории Каспийского моря не следует применять универсальное соотношение для корректировки данных реанализа. В отличие от поправок для Черного и Балтийского морей, предложенных, например, в работах [2, 8], для Каспия такой подход является грубым осреднением. Море можно разделить на районы с различными оценками коэффициентов регрессии. Данные рис. 2 показывают, что основные различия в скорости ветра наблюдаются при движении с севера на юг. На прибрежных гидрометеорологических станциях (ГМС) значения реанализа превышают данные наблюдений, а для островных («о. Тюлений», «о. Песчаный») характерно наличие двух мод — до 4 м/с и больше 4 м/с. Так, вдоль западного побережья Каспия данные реанализа занижают скорости ветра над морем. Особенно наглядно это проявляется на данных островной метеостанции «о. Тюлений». В районе полуострова Мангышлак (ГМС «Форт Шевченко») данные реанализа незначительно занижают большие (примерно на 9-10%) и завышают малые (на 10-20%) (менее 10 м/с) скорости ветра. Подобная тенденция сохраняется и в центральной части моря («о. Песчаный»). Крайняя северо-восточная часть акватории (ГМС «Атырау») имеет свою специфику временных изменений скоростей ветра. Кроме того, при «корректировке» реанализа для каспийского региона важно учитывать как сезонные изменения, так и пространственные различия между данными реанализа и измерениями на ГМС.

РАСЧЕТ ВОЛНОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Для описания зависимости ветрового волнения от условий волнообразования используется уравнение эволюции спектральной плотности волнового действия N в виде [17]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial \phi} \dot{\phi} + \frac{\partial N}{\partial \lambda} \dot{\lambda} + \frac{\partial N}{\partial k} \dot{k} + \frac{\partial N}{\partial \beta} \dot{\beta} + \frac{\partial N}{\partial \omega} \dot{\omega} = G_s, \quad (1)$$

где N является функцией от широты ϕ , долготы λ , волнового числа k и угла β между направлением волнового вектора и параллелью, а также от частоты ω и времени t . Символ «точка» над переменными означает производную по времени. Функция источника G_s записывается в виде суммы трех компонент:

$$G_s = G_m + G_{nl} + G_{ds}, \quad (2)$$

где G_m — поступление энергии от ветра к волнам; G_{ds} — диссипация волновой энергии; G_{nl} — слабо-

нелинейное взаимодействие в спектре ветрового волнения.

Гидродинамические модели, основанные на численном интегрировании (1), позволяют по заданному полю ветра (атмосферного давления) вычислить частотно-направленный спектр волн в узлах сеточной области в различные моменты времени (синоптические сроки). Переход к параметрам видимых волн (высотам, периодам) осуществляется через моменты спектра. В результате вычисляется широкий набор статистик.

В настоящее время в международной практике наиболее часто используются три модели: Wave Watch (WW), Wave Model (WAM), а также Simulating Waves Nearshore (SWAN) — для мелководья. Модель Wave Watch разработана в США, остальные две — в Европе. Они находятся в свободном доступе и открыты для широкого круга пользователей Интернета. Для оценки параметров волнения Каспийского моря использована нелинейная нестационарная численная гидродинамическая модель SWAN, версия 41.01A, разработанная в Делфтском Технологическом университете в Нидерландах. Эта модель признана международной общественностью, опробована на различных природных объектах и в течение многих лет используется для расчетов волнения.

Исходные данные для расчета ветрового волнения состоят из двух групп: данные о глубинах и положении береговой линии моря; информация о скорости и направлении. При расчетах с помощью специальных модулей учитывалось положение кромки льда и динамика береговой линии в зависимости от уровня Каспийского моря.

Информационной основой создания цифровой модели рельефа (ЦМР) дна стала геоинформационная система (ГИС) «Каспийское море» [11, 12]. На основе ЦМР для среднего многолетнего положения уровня моря по ГМС «Махачкала» был разработан ряд сеточных областей для четырех сценариев изменения уровня Каспийского моря с 1948 по 2015 гг.: минус 28.2 м (1948-1970 гг.), минус 28.7 м (1971-1980 гг.), минус 27.4 м (1981-1996 гг.), минус 27.1 м (1997-2015 гг.).

Исходными данными о пространственном распределении льда в Каспийском море является ГИС «Ледовый режим южных морей России» [10, 13, 18]. Источники данных: космические снимки (собственные данные ЮНЦ РАН, ААНИИ, НИЦ «Планета»), картосхемы авиационных облетов (Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек и Морские гидрометеорологические ежегодники). По Каспийскому морю в ГИС накоплена картографическая информация с 1950 по 2016 гг. (531 картосхема).

Учет динамики береговой линии, морфометрии и ледового покрова при расчетах выполнялся с помощью специального программного модуля – конструктора сценариев. Модуль в автоматическом режиме считывает информацию из ГИС «Ледовый режим» и ГИС «Каспийское море». Принцип учета динамики береговой линии и морфометрии: при изменении среднего уровня моря в соответствии с выбранными четырьмя сценариями расчета модуль автоматически заменяет расчетную сетку, заготовленную заранее. Ледовый покров при моделировании учитывается аналогичным образом: с наступлением очередного зимнего ледового периода модуль последовательно считывает ледовые поверхности в течение каждого года и ограничивает расчетную область вплоть до кромки льда. Таким образом, в отличие от ранее выполненных расчетов волнения при средней климатической кромке льда [6], вычисления проводились с учетом фактического ледово-

го покрова для каждого месяца конкретного года. Дискретизация расчетов по времени составляет 15 мин. Расчеты выполнены за период с 1948 по 2015 г. для всех синоптических сроков (через 3 часа). На каждом временном шаге в каждой ячейке сетки рассчитывался обширный набор параметров, из которых в дальнейшем использованы: значительная высота волн, средние период, длина и направление. Предыдущий опыт расчетов волнения Каспийского моря по модели SWAN показал, что параметры, принятые в модели по умолчанию, требуют изменения [14, 16]. Результаты экспериментов по расчетам волнения с некоторыми параметрами в функции источника приведены на рис. 3, 4. Данные относятся к мелководной (северной) и глубоководной (центральной) частям моря [1]. Видно, что наилучший результат достигается при учете диссипации из-за забурунивания (параметр «whitcapping») и использовании откорректированных данных ветра.

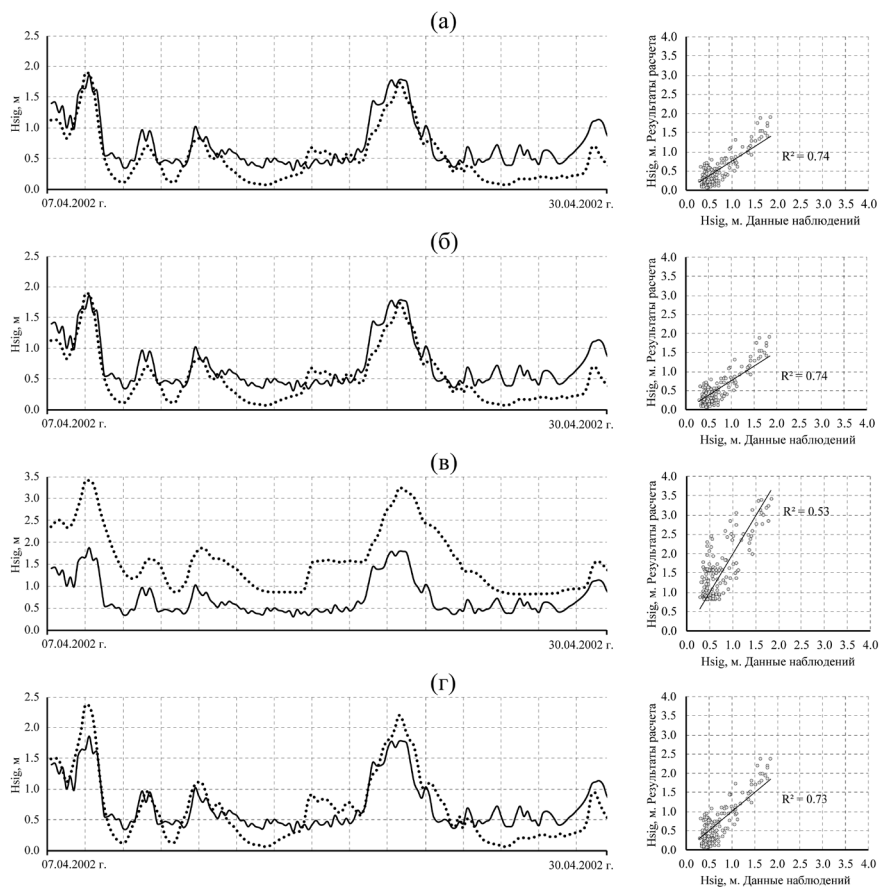


Рис. 3. Сопоставление данных измерений высот волн на Северном Каспии (месторождение «Ракушечное») в виде временных рядов (слева) и диаграмм рассеивания (справа, R_2 – коэффициент детерминации) для периода с 07.04.2002 г. по 30.04.2002 г. Сплошная линия – данные измерений, пунктирная линия – результаты расчетов по модели SWAN с дискретностью 15 мин. (а) – Расчет с учетом диссипации из-за забурунивания (параметр «whitcapping»), (б) – расчет при частичном учете диссипации из-за забурунивания, (в) – расчет без учета диссипации из-за забурунивания, (г) – расчет при частичном учете диссипации из-за забурунивания и использовании откорректированных данных реанализа.

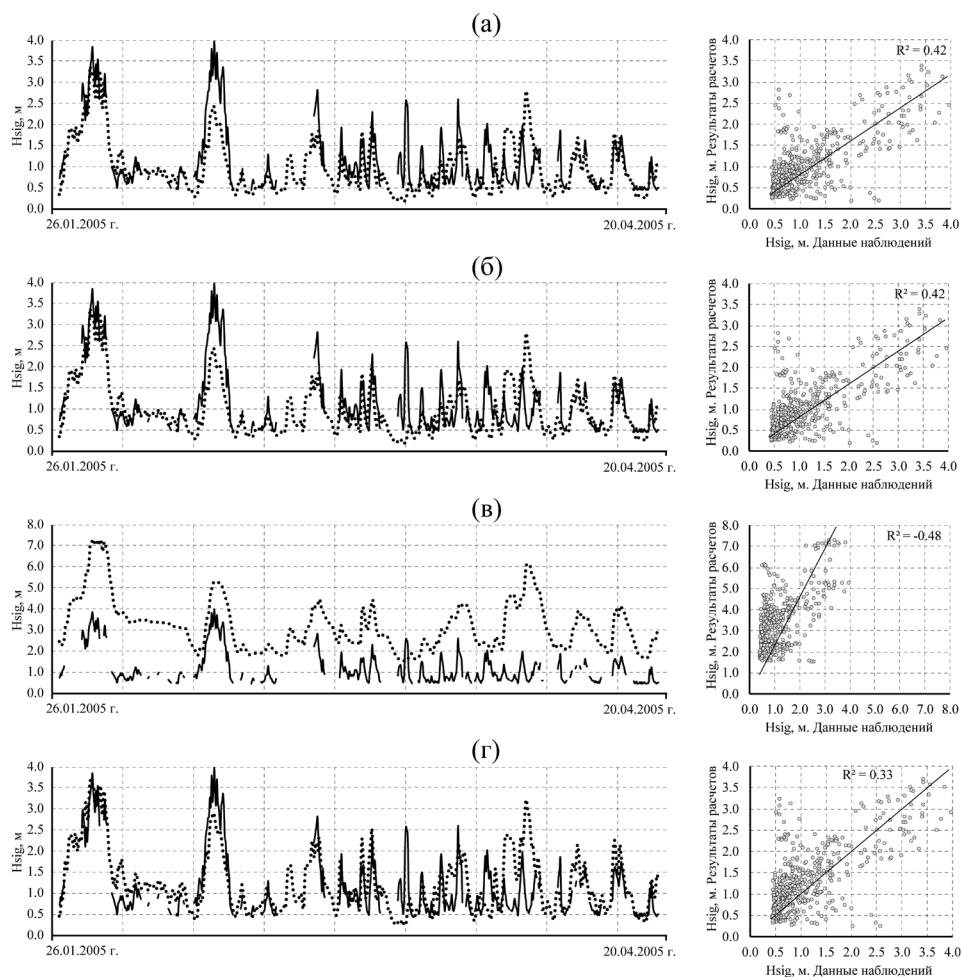


Рис. 4. Сопоставление данных измерений высот волн на Среднем Каспии (месторождение «Центральное») в виде временных рядов (слева) и диаграмм рассеивания (справа, R^2 — коэффициент детерминации) для периода с 26.01.2005 г. по 20.04.2005 г. Сплошная линия — данные измерений, пунктирная линия — результаты расчетов по модели SWAN с дискретностью 15 мин. (а) - Расчет с учетом диссипации из-за забурунивания (параметр «whitescapping»), (б) - расчет при частичном учете диссипации из-за забурунивания, (в) - расчет без учета диссипации из-за забурунивания, (г) - расчет при частичном учете диссипации из-за забурунивания и использовании откорректированных данных реанализа.

Таким образом, создание высокоточной цифровой модели рельефа дна Каспийского моря (которая стала основой для создания расчетных сеток различного масштаба), а также реализация конструктора сценариев (который позволяет учитывать при расчетах положение кромки льда и динамику береговой линии) открывают дорогу к уточнению и пространственной детализации данных о режиме волнения, включая сведения, опубликованные в справочнике нового поколения [8].

В качестве примера в таблице приведены оценки высот, периодов (получены по минус первому и нулевому моментам спектра волн) и длин, полученные по результатам гидродинамического моделирования за период с 1948 по 2015 гг. для всех синоптических сроков (через

3 часа). Отметим, что статистическое обобщение полученных результатов — отдельная задача, не составляющая цель настоящей статьи. Результаты представлены для «ключевых участков», включающих месторождения нефти и газа Северного Каспия (рис. 5).

В таблице оценки высот периодов и длин приводятся при современном среднем положении уровня моря минус 27 м. Но изменение среднего уровня по-разному сказывается на режиме волнения в отдельных частях акватории. Так, например, для мелководных районов (0–5 м) падение уровня до отметок минус 28.8 м приведет к уменьшению средней высоты значительных волн до 10%; для районов с глубиной 5–15 м — до 5%. В Среднем и Южном Каспии существенных изменений в режиме волнения не произойдет.

В работе [5] приводятся различные сценарии и не опустится ниже минус 29 м. Очевидно, изменения уровня моря, в том числе до 2050 г. что, в первом случае для Северного Каспия Согласно этому прогнозу, уровень Каспийского моря не превысит отметки минус 25 м оценки высот волн могут возрасти на несколько процентов, а во втором случае понизиться.

Таблица. Оценки параметров волнения для отдельных районов моря

Точка	Месяц	Hsig, м		Длина волны, м		Период волны, сек	
		макс.	ср.	макс.	ср.	макс.	ср.
P01. 44.2° с.ш. 48.9° в.д.	1	4.19	0.82	70.35	17.63	8.28	3.99
	2	3.35	0.85	57.84	17.92	7.36	4.01
	3	3.54	0.76	60.47	16.24	7.49	3.84
	4	2.64	0.67	46.43	14.27	6.54	3.59
	5	2.89	0.56	50.65	12.01	6.85	3.31
	6	2.51	0.46	44.02	9.79	6.30	3.00
	7	2.45	0.40	44.70	8.34	6.32	2.79
	8	2.83	0.49	48.88	10.26	6.67	3.08
	9	3.33	0.63	57.99	13.45	7.33	3.51
	10	2.67	0.74	47.50	16.05	6.72	3.83
	11	4.17	0.81	68.72	17.46	8.08	3.98
	12	4.20	0.84	70.50	17.92	8.27	4.02
	Год	4.20	0.67	70.50	14.28	8.28	3.58
P02. 41.9° с.ш. 50.6° в.д.	1	3.97	0.84	73.30	18.55	8.11	4.10
	2	4.65	0.85	84.06	18.60	8.60	4.10
	3	3.71	0.74	69.84	16.16	7.92	3.85
	4	2.81	0.63	52.90	14.02	7.02	3.60
	5	2.72	0.55	50.34	12.24	6.76	3.37
	6	2.70	0.58	50.08	12.72	6.74	3.45
	7	3.16	0.57	55.88	12.35	7.03	3.40
	8	3.38	0.59	59.99	12.46	7.20	3.39
	9	2.93	0.69	53.55	14.59	6.77	3.65
	10	3.37	0.75	63.62	16.15	7.57	3.83
	11	4.32	0.84	76.81	18.21	8.19	4.04
	12	3.84	0.84	66.17	18.46	7.56	4.09
	Год	4.65	0.71	84.06	15.38	8.60	3.74
P03. 40.3° с.ш. 51.4° в.д.	1	3.57	0.80	66.54	18.93	8.17	4.19
	2	3.42	0.78	73.28	18.13	8.27	4.12
	3	3.29	0.68	67.08	15.62	7.75	3.84
	4	2.93	0.56	50.82	13.26	7.08	3.58
	5	3.30	0.50	57.70	11.63	7.07	3.38
	6	2.38	0.57	47.69	12.90	6.63	3.57
	7	2.78	0.59	52.02	13.02	7.05	3.59
	8	2.79	0.58	52.82	12.70	7.12	3.51
	9	2.77	0.69	51.05	14.54	6.88	3.70
	10	3.07	0.74	55.35	15.78	7.18	3.82
	11	4.13	0.80	75.51	17.80	8.36	4.03
	12	3.12	0.80	55.90	18.42	7.26	4.14
	Год	4.13	0.67	75.51	15.23	8.36	3.79

Точка	Месяц	Hsig, м		Длина волны, м		Период волны, сек	
		макс.	ср.	макс.	ср.	макс.	ср.
P04. 39.0° с.ш. 51.1° в.д.	1	4.10	0.74	74.79	18.40	8.09	4.17
	2	3.32	0.72	62.77	17.59	7.55	4.11
	3	2.87	0.63	55.42	15.41	7.22	3.87
	4	3.00	0.52	56.90	12.78	7.15	3.58
	5	2.90	0.46	58.61	11.00	7.37	3.38
	6	2.32	0.54	43.47	12.31	6.37	3.59
	7	2.30	0.58	43.86	12.83	6.59	3.65
	8	2.60	0.58	47.52	12.70	6.85	3.58
	9	2.96	0.68	54.87	14.61	7.01	3.77
	10	3.50	0.71	62.42	15.81	7.45	3.87
	11	4.14	0.74	77.87	17.31	8.38	4.04
	12	3.30	0.73	60.21	17.92	7.27	4.12
	Год	4.14	0.63	77.87	14.89	8.38	3.81
P013. 45.4° с.ш. 49.9° в.д.	1	1.26	0.46	15.68	7.77	4.01	2.64
	2	1.27	0.48	15.66	8.07	4.05	2.69
	3	1.23	0.45	15.70	7.63	4.00	2.62
	4	1.18	0.41	15.62	7.00	3.99	2.51
	5	1.22	0.36	15.68	6.29	4.08	2.38
	6	1.10	0.32	15.27	5.64	3.88	2.26
	7	1.09	0.27	15.18	4.93	3.84	2.13
	8	1.06	0.31	14.78	5.47	3.82	2.22
	9	1.15	0.37	15.41	6.41	3.90	2.40
	10	1.24	0.42	15.69	7.17	4.00	2.53
	11	1.32	0.45	15.66	7.59	4.02	2.61
	12	1.24	0.46	15.66	7.81	3.99	2.65
	Год	1.32	0.40	15.70	6.81	4.08	2.47

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие технологии реанализа полей атмосферного давления и ветра создало возможности для расчетов волнового климата по статистическому ансамблю, охватывающему несколько десятилетий. Впервые показано, что достоверность данных реанализа ветра неодинакова не только для разных акваторий (как показали предыдущие исследования [2, 8]), но и в пределах одного моря. В настоящей работе на примере Каспийского моря показано, что для скорости ветра до 15 м/с реанализ в целом завышает значения по сравнению с измерениями на прибрежных метеостанциях, а для скорости больше 15 м/с — занижает. Поэтому для восстановления ансамбля полей волнения, включая штормовые ситуации, разработана и применена многоступенчатая процедура коррекции данных.

Созданная цифровая модель рельефа дна Каспийского моря с пространственным разрешением $0.001^\circ \times 0.001^\circ$ стала основой для расчетных сеток различного масштаба. Реализован кон-

структор сценариев, позволяющий при расчетах автоматически учитывать положения кромки льда и динамику береговой линии при многолетних изменениях уровня моря. К условиям Каспийского моря адаптирована спектральная волновая модель SWAN. Для детализации оценки режима волнения отдельных районов моря разработана и применена трехуровневая схема расчетов ветрового волнения с последовательностью вложенных сеток (Каспийское море — Северный Каспий, Апшеронский п-ов, г. Туркменбаши — Ключевые участки Северного Каспия). На ее основе с применением откорректированных полей ветра выполнены длительные многолетние непрерывные расчеты параметров ветрового волнения.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов No16-35-60046 мол_а_дк, РФФИ и РГО в рамках научного проекта No17-05-41190 РГО_а. Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 01201363188.

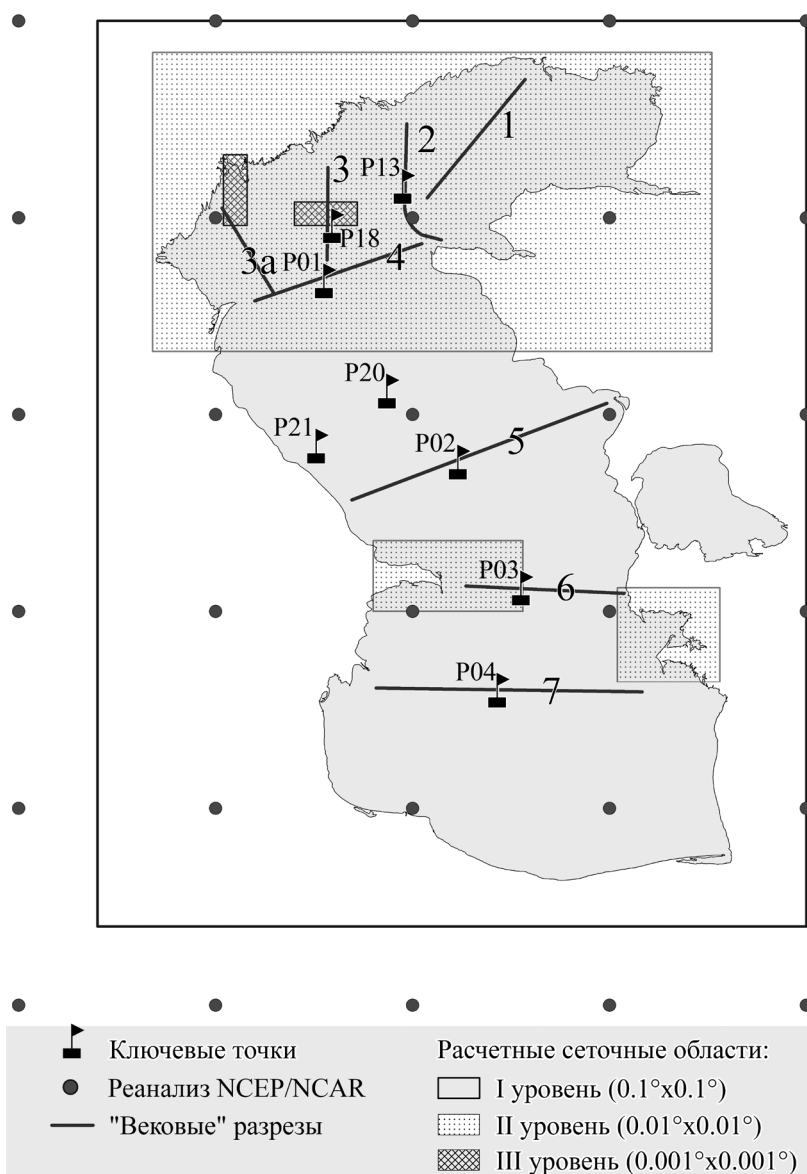


Рис. 5. Схема расчетных сеток в Каспийском море, положение «вековых» разрезов и реперных точек. Цифры 1–7 – номера «вековых» разрезов [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбросимов С.А., Амбросимов Е.С. Экспериментальные исследования ветрового волнения в центральной части Каспийского моря // Инженерная физика. 2007. № 6. С. 41-47.
2. Бухановский А.В., Лопатухин Л.И., Чернышева Е.С., Колесов А.М. Шторм на Черном море 11 ноября 2007 и статистики экстремальных штормов моря // Известия русского географического общества. 2009. Вып. 2. С. 71-84.
3. Бухановский А.В., Лопатухин Л.И., Чернышева Е.С. Новое поколение справочников по режиму волнения морей // Научно-технический сборник Российского морского Регистра судоходства. 2011. Вып. 34. С. 50-65.
4. Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные / Ред. Давидан И.Н. и др. Л.: Транспорт, 1974. 359 с.
5. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. М.: Триада ЛТД, 2016. 378 с.
6. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI Каспийское море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия / Под ред. Терзиева Ф.С. и др. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 360 с.
7. Лопатухин Л.И. Карты волнения Каспийского моря // Гидрометеорологические карты Каспийского моря. Л.: ГУНиО МО СССР, 1988.
8. Лопатухин Л.И., Бухановский А.В., Дегтярев А.Б., Рожков В.А. Справочные данные по режиму

- ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2003. 213 с.
9. Лопатухин Л.И., Бухановский А.В., Чернышева Е.С. и др. Новое поколение справочников и информационных материалов по динамике моря (к десятилетию реализации концепции, опубликованной в трудах РАО) // Труды 9-ой Международной конференции «Освоение шельфа арктических морей» РАО/CIS Offshore. 2009. Т. 2. С. 40-45.
 10. Магаева А.А., Яицкая Н.А., Лихтанская Н.В., Дашкевич Л.В. Развитие геоинформационной системы ледового режима южных морей России // Экология, экономика, информатика. 2015. Т. 3. С. 269-275.
 11. Яицкая Н.А. Термохалинный режим Каспийского моря при изменении уровня: Автореф. дис... канд.геогр.наук: 25.00.28. Мурманск, 2012. 28 с.
 12. Яицкая Н.А., Лоцинская В.В. Создание геоинформационной системы южных морей России для сохранения исторической картографической информации // Экология, экономика, информатика. 2013. Т. 2. С.211-217.
 13. Berdnikov S., Yaitskaya N., Lychagina Yu. The study of ice conditions of the Caspian Sea using satellite monitoring data (2008-2011) // Proceedings of the Fourth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2013) and SECOTOX Conference. 2013. P. 855-859.
 14. Graham C., Cardone V.J., Ceccacci E.A. et al. Challenges to wave hindcasting in the Caspian Sea // 7th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, 2002.
 15. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bulletin of the American Meteorological Society. 1996. V. 77. P. 437-470.
 16. Lopatoukhin L.J., Boukhanovsky A.V., Chernysheva E.S., Ivanov S.V. Hindcasting of wind and wave climate of seas around Russia // Proceedings of the 8th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting. 2004.
 17. SWAN. Technical documentation. Delft University of Technology, Faculty of Civil Eng. and Geosciences, Environmental Fluid Mechanics Section. 2006. 88 p.
 18. Yaitskaya N.; Lychagina Y.; Berdnikov S. The ice conditions study of the Caspian Sea during the winter periods 2008-2010 using satellite monitoring data and geographical information system // Fresenius Environmental Bulletin. 2014. V. 23. Iss. 11. P. 2771-2777.

Wave Climate of the Caspian Sea. The Input Wind Data for Hydrodynamical Modeling and Some Results of Calculations

© 2019 L. I. Lopatoukhin^{1, 2}, N. A. Yaitskaya^{3, 4, 5}

¹ Saint-Petersburg State University, Oceanology Department, Saint-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint-Petersburg, Russia

³ Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

⁴ Sochi Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia

⁵ Branch of the Institute of Natural Technical Systems, Sochi, Russia

e-mail: yaitskayan@gmail.com

Received January 17, 2017

After revision May 12, 2017

The main stage of modern approach to the calculation of the wave climate includes creation of a database from hydrodynamic simulation. The input data for hindcasting are wind information, represented in the global reanalysis data. The reanalysis, especially for extreme wave statistics estimation should be subjected to correction with due regard of regional atmospheric processes. The specific of any basins requires prior adaptation of hydrodynamic models to particular conditions, results of which are checked by comparisons of model results with the data of field observations. The results of calculations based on hydrodynamic models are summarized using a set of stochastic models of various classes.

Keywords: wind wave, wind, reanalysis, observation data, mathematical modeling, Caspian Sea