

РАЗДЕЛ 3.
ГИДРОЛОГИЯ, ОКЕАНОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ

УДК 551

**ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ
КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО
РАЗВИТИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Бригида В. С.

*Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», Сочи, Российская Федерация
E-mail: 1z011@inbox.ru*

Стохастическая природа волнового движения в совокупности с антропогенным воздействием на геоморфологию береговой линии представляют существенные угрозы для управления прибрежными территориями. Задачей исследования являлась оценка внутригодовой изменчивости распределения ветровых волн (фактора ускорения эрозионных процессов). В результате работы получена зависимость (в виде поверхности отклика) пространственно-временных изменений гидродинамики Каспийского моря. Новизна установленных закономерностей – величина высоты значительных волн в летний период изменяется по полиномиальному закону с образованием максимума (+26%) в замерной точке №2, а в период с ноября по февраль – растет на +13% по полиномиальному закону в направлении с юга на север. Методика проведения исследования может быть использована при проектировании природно-технических систем и экологизации туристского продукта в прибрежных территориях.

Ключевые слова: Каспийское море, волновой климат, береговая эрозия, экологизация туристских направлений, прибрежные зоны.

ВВЕДЕНИЕ

Прибрежные районы (особенно Черноморского побережья и Республики Крым) предоставляют большую часть экосистемных услуг, обуславливая высокий потенциал будущего экономического роста. Эффективность разработки стратегий пространственного развития регионов рекреационно-туристской специализации связывают исключительно с переходом на новый технологический уровень (индустрии 4.0, развертывание технологических платформ, цифровой экономики и технологий IoT) и продвижением крупномасштабных турпродуктов [1]. Интенсификация хозяйственной деятельности, безусловно, снизит качество туристских ресурсов туристских направлений. В то же время необходимость учета экологического фактора при планировании деятельности предприятий, а также управлении социально-экономическим развитием туристского сектора доказана во многих исследованиях [2, 3, 4.]. Формирование новых турпродуктов на основе принципов устойчивого развития и экологизации их структурных элементов позволяет сохранить природные ресурсы даже в сырьевых регионах [5, 6]. Кроме того сохранение объектов геологического наследия в форме геоморфологических особенностей и георазнообразия, является важной частью окружающей среды при

формировании природно-заповедного фонда в прибрежных территориях рекреационно-туристской специализации [7].

Прибрежные зоны в большинстве случаев подвергается совокупным действием нескольких опасностей, что указывает на наличие следующих угроз, с которыми могут столкнуться туристские регионы: повышение уровня моря, нарастание частоты экстремальных погодных явлений и штормовых волн, отступление пляжа. Это может оказать существенное негативное влияние на экономику регионов с высокой долей туризма (например, вдоль побережья Каспийского моря). Основные угрозы поднятия уровня моря для устойчивости природно-технических систем и прибрежных сооружений, при реализации различных сценариев изменения климата (например, RCP2.6 или RCP8.5), обусловлены изменением режимов ветрового волнения и ускорением береговой эрозии. При этом наиболее важной причиной береговой эрозии является наличие ветровых волн значительной высоты – штормовых волн [8], а также нелинейный характер динамики уровня Каспийского моря [9].

Нарастание антропогенной нагрузки в прибрежных зонах создает угрозу нарушения гидрологических циклов и сохранения целостности экосистем в области влияния трансформации береговой линии. Среди наибольших угроз особое место занимает эрозия пляжей. Например, в странах Евросоюза эта проблема актуальна для 70 млн. человек, которые проживают на территории 20 тыс. км. [10]. В нашей стране наиболее чувствительные к техногенным трансформациям — зоны влажных субтропиков (город-курорт Сочи) сталкиваются с все большим уменьшением биоразнообразия Черноморского побережья. Изменение природных ландшафтов при застройке Имеретинской низменности, привели к масштабным разрушениям береговых сооружений при нарастании опасных гидрометеорологических явления.

Прогнозирование темпов эрозии береговой линии позволяет эффективно оценить продуктивную ширину пляжа и интенсивность его потери в будущем. Обеспечение устойчивого управления береговой линией, в большей степени связано со скоростью реакции органов государственного управления, эффективностью защитных мероприятий и оценки адаптационной способности природно-технических систем на интенсификацию эрозионных процессов [11]. По этой причине расширение представлений о факторах, инициирующих изменения в прибрежных районах, повышает возможность противостояния природным рискам и разработке эффективных стратегий смягчения последствий, связанных с проявлениями опасных метеорологических явлений [12].

Поэтому обеспечение устойчивого развития прибрежными территориями, а также смягчения негативных последствий эрозии береговой линии является актуальной научно-технической проблемой.

Одним из основных элементов управления прибрежной зоной является анализ динамики береговой линии, происходящей под воздействием детерминант, которые реализуются в различных по продолжительности масштабах времени: ветровые волны — секунды или минуты; штормовое волнение — часы или дни; сезонные изменения энергии волн, волновой климат — десятки лет. При рассмотрении исследуемых процессов важным аспектом, является роль и взаимосвязи между прибрежной гидродинамикой и морфологией морского дна в прибрежной зоне. В

ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

работе [13] использовались продолжительные батиметрические временные ряды данных, для анализа многолетних морфологических изменений береговой линии и моделирования распределения энергии волн в заливе Виссант (Франция) (рис. 1.).

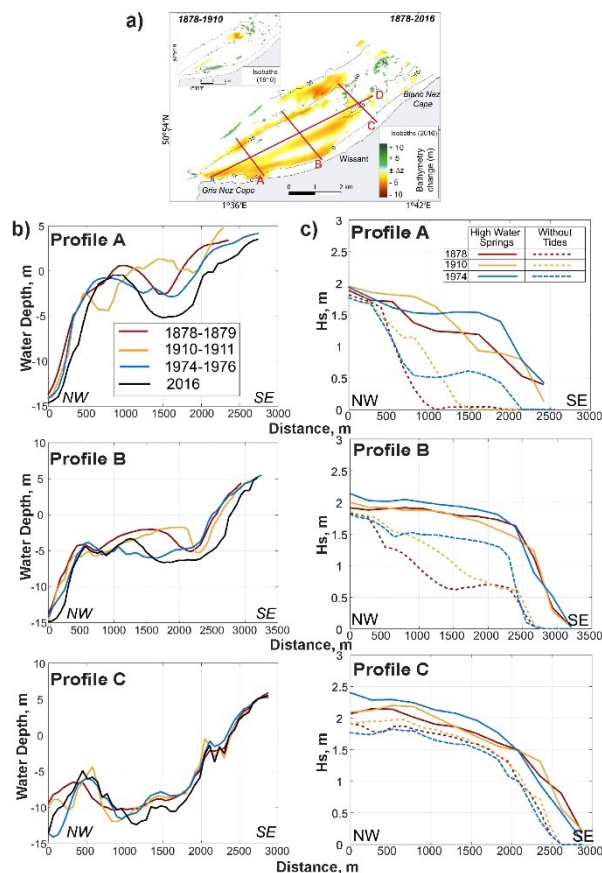


Рис. 1. Морфологические изменения береговой линии и энергии ветровых волн на побережье Виссант [13].

а) – карта пространственного распределения батиметрических данных (с 1878 по 2016 гг.). Оранжевый цвет указывает на снижение глубины морского дна, зеленые участки – вертикальную аккумуляцию. Разрезы А, В, С являются рассматриваемыми батиметрическими профилями; б) – динамика уровня воды (глубины дна) по профилям А-С; в) – изменения высоты северо-восточных значительных волн с учетом и без учета приливов.

Моделирование осуществлялось на сетке MANGAS (основанной на цифровой модели рельефа «DEM») с разрешением от 10 км на открытых границах и до 200 м на побережье. Авторы использовали совокупность модели TELEMAR-2D (приливная циркуляция) во взаимосвязи с моделью распространения высоты значительных волн — TOMAWAC. Использование волновой модели TOMAWAC позволило определить

влияние морфодинамики морского дна на распределение энергии волн в прибрежной зоне Северного моря. В связи с отсутствием данных до 1970-х года ее актуализировали с помощью модели WaveWatch III (широко применяемой при решении подобных задач). В результате установлен факт заполнения прибрежного канала, за счет расширения и миграции береговой линии в Западной и центральной части залива. Это привело к общему уменьшению высоты волн и снижению скорости течений, обуславливая отложению наносов на береговой линии и пляж.

Таким образом, было доказано важность оценки изменения морфологии морского дна и его непосредственное влияние на интенсивность приливов и рассеивание ветровых волн. Наличие механизмов прямой и обратной связи и сложного взаимодействия гидродинамической циркуляции и глубиной морского дна обуславливает существенные сложности для долгосрочного прогнозирования волнового климата. Кроме того, эти процессы объясняют важность учета пространственных особенностей конкретного объекта исследования, которые не всегда учитывают существующие модели ветровых волн. Различные модели ветровых волн уже используются в моделировании динамики береговой линии (ShoreFor, COCOONED, Random Forest и др.) [14, 15, 16], тем не менее, обеспечение надежных прогнозов остается сложной задачей, как при наличии протяженных временных рядов, так при краткосрочных сценариях (рис. 2.).

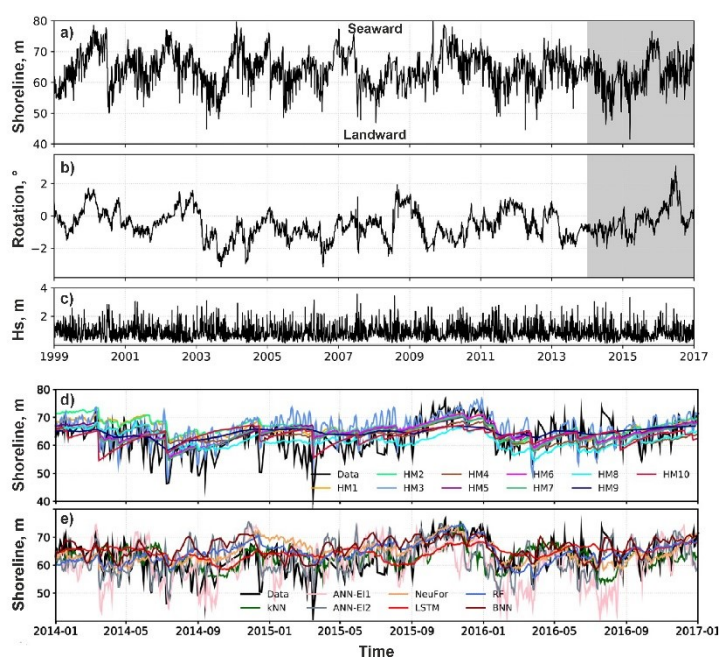


Рис. 2. Динамика береговой линии пляжа Taiguia, Северный остров (Новая Зеландия) [16].

а) — фактические данные подвигания береговой линии, полученные с помощью системы камер установленных вдоль пляжа; б) — фактические данные поворота береговой линии: положительные — аккумуляция на юг (вращение против часовой

ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

стрелки), отрицательными – на север; с) — высота значительных волн; d) — береговые прогнозы при использовании 11-ти гибридных моделей, по сравнению с наблюдениями (черная линия); e) — при использовании 8-и моделей машинного обучения.

Так, например, для проверки и повышения качества прогнозирования динамики береговой линии был проведен конкурс «Shoeshop» [16]. Для калибровки использовались данные береговой линии пляжа Таируа полученные фотометрическим методом, за период с 1999 по 2014 гг. Прогнозирование осуществляли для периода 2014–2017 гг. (для области серого затенения данных, см. рис. 2а, b.) с применением гибридных моделей (HM) и моделей машинного обучения (ML). Волновые характеристики были получены из ретрансляции волны с использованием гидродинамической модели (SWAN), форсированной моделью Wavewatch III подтвержденной натурными измерениями на глубине 8 м ($R^2 = 0,80$).

В результате проведенного исследования определено, что HM и ML модели хорошо воспроизводят изменения береговой линии при наличии фактических данных для нормальных условий, но имеют низкую эффективность в прогнозном периоде. Авторы связывают это с наличием неопределенностей, вследствие положения береговой линии (пространственные особенности) и волновых характеристик (содержат потенциальные источники погрешности).

Наличие неопределенности в детерминантах (H_s) обуславливает флуктуационную составляющую в реакции береговой линии, которая увеличивает свое влияние по мере включения в прогностические модели более протяженных временных масштабов данных. Кроме того, недостаточный учет сезонной составляющей во внутригодовой цикличности волнового климата остается не до конца изученным. В связи с этим выявление особенностей пространственного распределения ветровых волн и их взаимосвязей с детерминантами, обуславливающими различного рода нелинейности временных рядов, является важной научно-технической задачей.

Цель исследования — выявление сезонной изменчивости высоты значительных волн в отдельных участках Каспийского моря, для использования полученных закономерностей, при повышении устойчивости береговой линии в туристских дестинациях.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования. Объектами исследования являются пять ключевых участков Каспийского моря (в том числе с учетом расположения нефтегазовых месторождений Северного Каспия), пространственная ориентация которых представлена в табл.1 и рис 3.

В качестве исходных данных принимались результаты гидродинамического моделирования высоты значительных волн (« H_{sig} ») из таблицы 1 работы [17]. Описание примененного подхода к описанию зависимости ветрового волнения от условий волнообразования («формула эволюции спектральной плотности волнового

действия»), исходные данные, основания для создания цифровой модели рельефа, а также сущность и обоснованность применения гидродинамической модели, основанной на численном интегрировании (SWAN) более широко описано в самой работе [17].

Таблица 1.

Характеристика реперных точек в ключевых участках Каспийского моря

Координаты	Номера ключевых точек отдельных районов моря (Р)				
	1	2	3	4	5
N	44°02'	41°09'	40°03'	39°00'	45°04'
E	48°09'	50°06'	51°04'	51°01'	49°09'

Составлено автором.

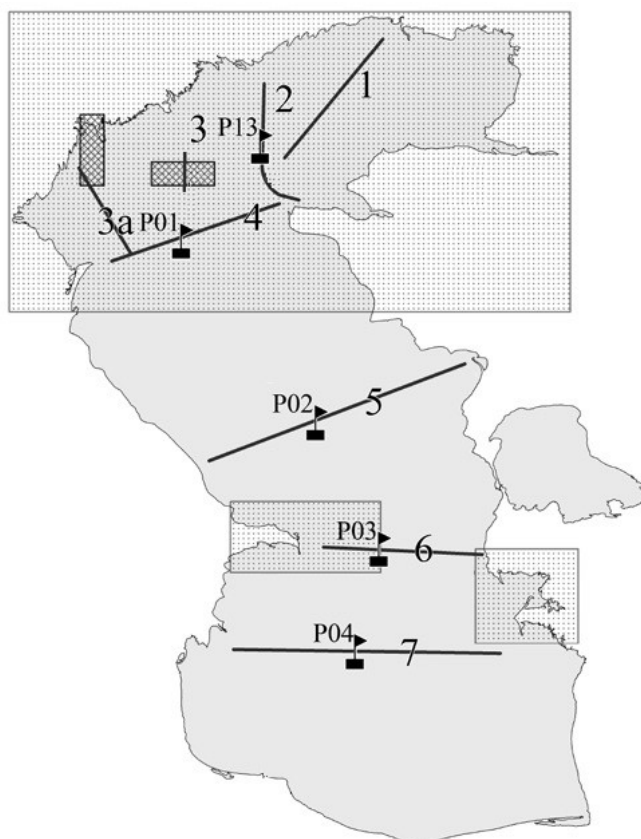


Рис. 3. Положение ключевых точек для моделирования параметров волнения в отдельных участках (с размерами расчетных сеток) моря [17-19]: P01, P02, P03, P04, P13 – номера реперных точек, соответствующих №1,2,3,4,5 в табл.1.

Составлено автором.

ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Результаты были получены при использовании численной модели SWAN, которая позволяет с высокой степенью достоверности оценивать ветро-волновой климат [18].

Для формирования базы метеорологических полей ветра в [17] применяли массивы данных реанализа NCEP/NCAR для уровня моря минус 27 м. Значения модулей скорости ветра в локальных районах акватории корректировались с учетом результатов измерений, полученных на прибрежных гидрометеорологических станциях. Одним из недостатков в исследовании авторов было недостаточная «пост-процессинговая» обработка полученных результатов, обусловленная ограниченностью двумерной постановки задачи.

Выявление пространственно-временных закономерностей необходимо при решении различных типов подобных задач геоэкологии в смежных областях знаний [20, 21, 22, 23]. В большинстве случаев, при решении подобных задач (например: обеспечения устойчивого трансграничного водопользования) применяют географо-гидрологические или стандартные статистические методы анализа временных рядов [24]. Недостатком такого подхода, является отображение результатов трехмерного протекания исследуемых процессов в виде спроецированной на плоскость совокупности экспериментально-аналитических кривых. Это обуславливает наличие проблемы совершенствования общего методологического подхода к выявлению закономерностей пространственно-временной изменчивости в непрерывных многофакторных процессах [25]. При аппроксимации пространственно-временных данных использовался подход, приведенный в работах [26, 27]. Неполную выборку уточняли методами трехмерной интерполяции рассеянных данных (по алгоритму Renka). Процедуры триангуляции Роберта Ренки широко применяются для получения точных и гладких частных производных первого и второго порядка, позволяющие достичь более высокого порядка гладкости при интерполяции. Таким образом, впервые для выявления особенностей сезонной изменчивости высоты значимых волн, при интерпретации массива временных рядов данных (в плоскости (H_s-t) согласно планируемому подходу добавлены параметры пространственной ориентации в привязки к местности (P). Это позволило установить зависимость, отражающую исследуемый процесс в виде поверхности $(H_s \text{ от } t-P)$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результатом обработки расчетных значений модели SWAN установлена зависимость изменения значимых высот волн от параметров пространственно-временных условий их обуславливающих, имеющая полиномиальный вид квадратичной сигмоидной функции (так называемой «сигмоидальной» или S-образной) десятого порядка. Область определения точек: $t' = t$ для всех $t \in [0, \pi]$ и $P' = P$ для всех $P \in [0, \pi]$.

В результате, на рис. 4 представлена итоговая функция пространственной динамики высоты ветровых волн ($R^2 = 0,97$), которая имеет следующий вид:

Из рис. 4. следует, что при изменении пространственного положения реперных точек №1-№4 табл.1 (с Севера на Юг акватории Каспийского моря) прослеживается уменьшение амплитуды колебаний в характере изменения высот значимых волн для любого времени года. Степень нелинейности динамики ветрового волнения максимально резко проявляется для реперной точки №1.

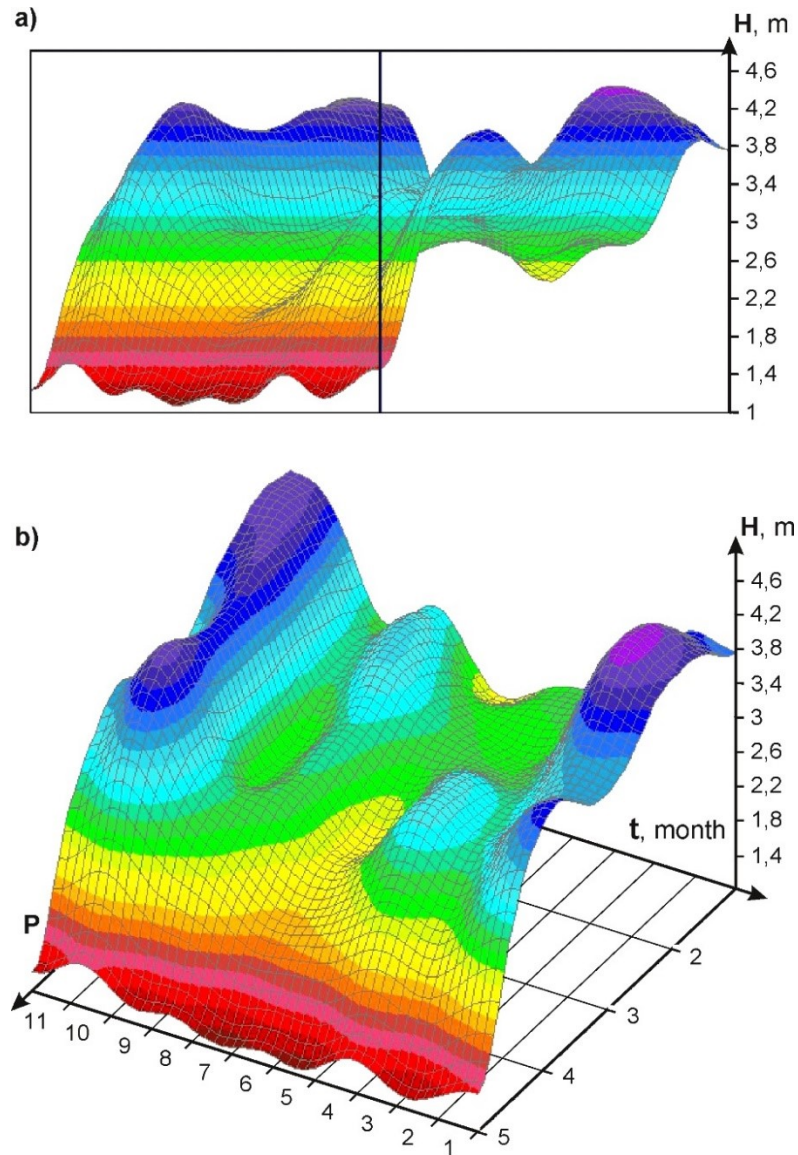


Рис. 4. Пространственное распределение динамики ветрового волнения в Каспийском море: а) — результирующая поверхность во фронтальной и профильной плоскости проекций; б) — трехмерный вид.

Составлено автором.

ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ
КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

$$\begin{aligned}
 H_s = & 3 - 0,03 \cos(t') + 0,55 \cos(P') + 0,58 \cos(2t') + 0,06 \cos(t') \cos(P') - \\
 & - 0,35 \cos(2P') + 0,01 \cos(3t') + 0,14 \cos(2t') \cos(P') - 0,02 \cos(t') \cos(2P') + \\
 & + 0,26 \cos(3P') + 0,10 \cos(4t') + 0,11 \cos(3t') \cos(P') - 0,01 \cos(2t') \cos(2P') - \\
 & - 0,05 \cos(t') \cos(3P') - 0,28 \cos(4t') + 0,14 \cos(4t') \cos(P') + 0,07 \cos(3t') \cos(2P') + \\
 & + 0,11 \cos(2t') \cos(3P') + 0,01 \cos(t') \cos(4P') + 0,08 \cos(5t') + 0,04 \cos(6t') - \\
 & - 0,19 \cos(5t') \cos(P') - 0,01 \cos(4t') \cos(2P') - 0,8 \cos(3t') \cos(3P') - \\
 & - 0,13 \cos(2t') \cos(4P') - 0,02 \cos(t') + \cos(5t') - 0,08 \cos(6t') + 0,07 \cos(7t') - \\
 & - 0,02 \cos(6t') \cos(P') - 0,03 \cos(5t') \cos(2P') - 0,05 \cos(4t') \cos(3P') - \\
 & - 0,08 \cos(3t') \cos(4P') + 0,02 \cos(2t') \cos(5P') + 0,04 \cos(7t') - 0,15 \cos(8t') - \\
 & - 0,11 \cos(7t') \cos(P') + 0,02 \cos(6t') \cos(2P') + 0,05 \cos(5t') \cos(3P') - \\
 & - 0,03 \cos(4t') \cos(4P') - 0,01 \cos(3t') \cos(5P') - 0,02 \cos(2t') \cos(6P') - \\
 & - 0,01 \cos(t') \cos(7P') - 0,05 \cos(8t') + 0,06 \cos(9t') - 0,07 \cos(8t') \cos(P') - \\
 & - 0,09 \cos(7t') \cos(2P') + 0,09 \cos(6t') \cos(3P') - 0,01 \cos(5t') \cos(4P') - \\
 & - 0,01 \cos(3t') \cos(6P') + 0,02 \cos(2t') \cos(7P') + 0,03 \cos(9t') - 0,06 \cos(10t') + \\
 & + 0,09 \cos(8t') \cos(2P') + 0,02 \cos(7t') \cos(3P') + 0,04 \cos(6t') \cos(4P') + \\
 & + 0,06 \cos(5t') \cos(5P') + 0,2 \cos(4t') \cos(6P') - 0,01 \cos(2t') \cos(8P') - \\
 & - 0,01 \cos(t') \cos(9P') - 0,04 \cos(10P'),
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где H_s — высота значительных волн, м; t — время внутригодового цикла, мес.; P — номер реперной точки, для которой осуществлялось моделирование.

Внутригодовая изменчивость метеорологических условий в данной точке, обуславливает существование двух локальных минимумов: $H_s = 2,9$ м в диапазоне с сентября по октябрь, а также $H_s = 2,4$ м — с июня по июль. Максимальные значения ветрового волнения приходились с ноября по декабрь и с января по февраль, когда значения локальных максимумов составляли 4,2 м и 3,9 м соответственно. В тоже время характер динамики высоты волн в точке №5, которая расположена восточнее №1, имеет существенные отличия. Сама внутригодовая изменчивость энергии волн в ней выражена незначительно, но имеет общие особенности реализации. Минимальные значения $H_s = 1,1$ м прослеживаются с июля по август и с мая по июнь, а также $H_s = 1,2$ м с февраля по март. Кроме того наблюдались три максимума: $H_s = 1,35$ м ($t = 4$ — апрель), $H_s = 1,4$ м ($t = 1,2$ — начало января) и $H_s = 1,52$ м ($t = 10,5-11,2$ — с середины октября по начало ноября). Разница между максимальным и минимальным значениями не превышает 0,6 м (против 1,9 м для точки №1), а

периоды колебаний значительно больше, что обуславливает выполаживание поверхности протекания исследуемого процесса.

Проекция боковой плоскости «поверхности отклика» по осям t -Нс и P -Н (рис. 4b.) свидетельствует о наличии существенного влияния параметров расположения реперных точек на динамику ветрового волнения, характеризующимся существенным затуханием нелинейности формы исследуемой поверхности в сторону внутрисезонного выполаживания и резкого спада высоты волн при переходе от точки №4 к №5. Обобщая анализ графического отображения сезонной изменчивости ветровых волн, следует отметить наличие волновой природы в динамике их пространственного распределения.

Проекция полученной поверхности на ось P - t (пространство-время) приведена на рис. 5. Изолиниями показано геометрическое место точек с одинаковыми параметрами «значительных волн».

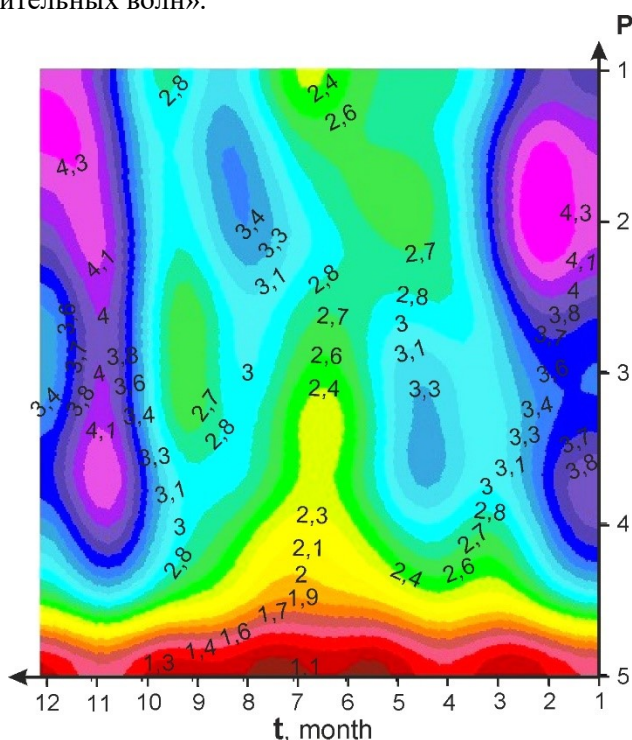


Рис. 5. Проекция пространственного распределения высоты значительных волн на горизонтальную плоскость.

Составлено автором.

Из анализа изолиний представленных на рис. 5. следует, что в пространственном распределении ветрового волнения присутствуют сезонные особенности, проявляются во внутримесячной вытянутости форм и локализации областей с характерными максимумами и минимумами вдоль оси P . Например: увеличение P с 1 до 4, при значении $t = 10-12$ (октябрь-декабрь) приводит к стабилизации максимальных высот значимых волн в районе 3,4 м, с образованием локального

ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

максимума = 4,3 м (см. сиреневую область в форме усеченного овала, расположенную слева на рис. 5.) в диапазоне от 1,4 до 1,8 Р. Фома модели исследуемого процесса, при данных ограничениях, характеризуется волновым изменением значений H_s от 3,6 до 4,3 при $t = 11$ (ноябрь).

Максимальные значения H_s , в начале года, прослеживается для всего пространственного распределения, сменяющийся общим минимумом в диапазоне t от 5,8-7 (конец мая-июль), в виде вытянутой вдоль оси Р (равномерно распределенной) области с $H_s = 2,1-2,7$ м, которая ($P = 4,2$) сменяется резким спадом до уровня 1,3 м ($P = 4,2-5$).

ОБСУЖДЕНИЯ

Исходя из полученных результатов, следует, что при незначительном изменении временных рядов (сезоны, месяцы) пространственное распределение ветровых волн весьма неравномерна и может подвергаться существенным трансформациям. Большая степень неопределенности временных рядов данных, особенно для долгосрочного прогнозирования, обусловлена наличием совокупного действия ряда влияющих факторов и стохастической природой волн. Для полного раскрытия механизма влияния каждого из них необходимо проведение уточняющих исследований (например, в области межгодовой динамики).

Использование авторского подхода к решению трехмерных геоэкологических задач, на примере оценки внутригодовой изменчивости гидродинамики Каспийского моря, позволило более точно оценить зональность локальных экстремумов в полученных моделях. К наиболее значимым следствиям из которых можно выделить следующие.

Значение высоты значительных волн нелинейно возрастает (с образованием локальных максимумов между №1 и №2 реперными точками) с 3,8 м до 4,3 м по полиномиальному закону с уменьшением номера исследуемого пикета (в направлении с севера на юго-запад), обуславливая соответствующие особенности сезонных изменений с октября по февраль.

Высота волнения равномерно возрастает от 1,9 м до 2,4 м, с образованием максимума в районе 2-й реперной точки, по полиномиальному закону при изменении номера пространственных точек (в направлении с севера на юго-запад), определяя нахождение годовых минимумов сезонных изменений с конца мая по июль.

Из вышеизложенного следует, что миграции и изменение размеров зон локальных максимумов присущ волновой характер пространственного распределения, который в тоже время (для отдельной точки №5) может проявляться не для всех точек пространства. В целом форма поверхности исследуемого процесса, а именно ее проекция на фронтальную плоскость, хорошо согласуется с результатами аналогичных исследований [13] (рис. 1с.), [16] (рис. 2а.), рис. 4. работы [11] и др.

Кроме того, выявленные закономерности косвенно подтверждаются схожим характером трансформации береговой линии описанных в работах [14, 28, 29, 30]. Анализ данных дистанционного зондирования для исследования береговой эрозии

методами огибающей береговой линии (SCE), скорости конечных точек (EPR) и скорости линейной регрессии (LRR) проводили в расширении DSAS (ПО ArcGIS) [28]. В ходе анализа были выделены 814 разреза вдоль 40 км береговой линии дельты реки Гексу (Турция), с максимальной интенсивностью эрозионных процессов (когда в пляжной зоне присутствуют буны, а река впадает в море). В результате (на Рис. 5. [28]) для периода с 1984 по 2011 гг., в динамике профиля береговой линии Средиземного моря, полученной по каждому из методов SCE, EPR и LRR прослеживается ярко выраженный нелинейный характер, проявляющаяся в рамках десятилетнего масштаба времени. Что доказывает общность природы прямых и обратных взаимосвязей прибрежной гидродинамики и ветрового климата.

Совокупность полученных результатов расширяют представления о сезонных особенностях пространственно-временных изменений энергии ветровых волн, как о едином и непрерывном физическом процессе. Для практики туристской индустрии, их использование позволит осуществлять экологизацию туристского продукта, за счет устойчивого управления прибрежными районами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы и научные результаты динамики ветрового волнения заключаются в следующем:

- определены пространственные закономерности нелинейных динамики волнового климата Каспийского моря, заключается проявляющиеся в изменении размеров зон локальных максимумов и их миграции в плоскости P-t.

- установлено, что сезонность изменений ветрового волнения с октября по февраль, заключается в том, что уменьшение номера реперных точек с №4 до №1 приводит к нелинейному росту, по полиномиальной зависимости, высоты значительных волн на 13%;

- установлено, что сезонность изменений годовых минимумов ветрового волнения Каспийского моря реализуется с конца мая по июль и заключается в том, что уменьшение номера реперных точек с №4 до №1 приводит к равномерно росту высоты значительных волн, по полиномиальной зависимости, на 26% и образованием локального максимума в районе 2-й точки ($H_s = 2,8$ м);

Кроме того общий подход, реализованный в настоящем исследовании возможно применить для расширения представлений о сезонной изменчивости уровня Чёрного моря (например, выявления особенности миграции локальных максимумов – смотри Рис. 1. работы [31] или пространственных закономерностей динамики химического состава отходов горнорудной промышленности [32, 33]).

Список литературы

1. Сорокин Д. Е., Шарафутдинов В. Н., Онищенко Е. В. О проблемах стратегирования развития туризма в регионах России (на примере Краснодарского края и города-курорта Сочи) // Экономика региона. 2017. Т. 13. № 3. С. 764–776. <https://doi.org/10.17059/2017-3-10>.

ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ
КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

2. Khasheva Z. M., Golik V. I., Kravchenko N. P., Milovanov V. F., Adamyan Zh. A. Analysis of environmental factors of enterprise at the regional market of oil products // *Revista San Gregorio*. 2019. N. 30. P. 95–103.
3. Koval V., Mykhno Y., Antonova L., Plekhanov D., Bondar V. Analysis of environmental factors' effect on the development of tourism // *Journal of Geology, Geography and Geocology*. 2019. V. 28(3). P. 445–456. <https://doi.org/10.15421/111941>.
4. Рьльникова М. В. Гармоничное развитие горной промышленности, науки и высшего горного образования — гарантия устойчивого состояния горнопромышленных регионов России // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2020. Т. 12. № 1 (43). С. 154–161. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-1-154-161>.
5. Kiriyanova L. G., Surtseva A. A., Yumatov K. V., Pyatovskiy A. A. Tourism as a «post-staples» diversification for Russian remote resource-dependent regions: a new path for Kuzbass // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2019. Т. 330. № 10. С. 230–239. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/10/2319>.
6. Бригида В. С., Стась Г. В., Мишулина С. И. Перспективные направления экологизации структурных элементов туристского продукта Краснодарского края (на примере транспортной составляющей) // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2020. Т. 12. № 1. С. 18–25. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-1-18-25>.
7. Васенко В. И., Вахрушев Б. А., Чабан В. В. Современное состояние и антропогенное влияние на прибрежные озера Крыма // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География*. 2021. № 1. С. 226–240.
8. Molina R., Manno G., Lo Re C. Storm energy flux characterization along the Mediterranean coast of Andalusia (Spain) // *Water*. 2019. V. 11. N. 509. <https://doi.org/10.3390/w11030509>
9. Piralı Zefrehei A. R., Fallah M., Hedayati A. Applying remote sensing techniques to changes of water body and aquatic plants in Anzali International Wetland (1985–2018) // *Theoretical and Applied Ecology*. 2021. N. 1. P. 65–72. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-1-065-072>.
10. Díaz-Cuevas P., Prieto-Campos A., Ojeda-Zújar J. Developing a beach erosion sensitivity indicator using relational spatial databases and Analytic Hierarchy Process // *Ocean and Coastal Management*. 2020. V. 189. N. 105146. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105146>.
11. Sytnik O., Río L. D., Greggio N., Bonetti J. Historical shoreline trend analysis and drivers of coastal change along the Ravenna coast, NE Adriatic // *Environmental Earth Sciences*. 2018. V. 77. N. 779. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7963-8>.
12. Евсеева Н. С., Ромашова Т. В. Опасные метеорологические явления как составная часть природного риска (на примере юга Томской области) // *Вестник Томского государственного университета*. 2011. № 353. С. 199–204.
13. Latapy A., Hekette A., Nicolle A., Pouvreau N. Influence of shoreface morphological changes since the 19th century on nearshore hydrodynamics and shoreline evolution in Wissant Bay (northern France) // *Marine Geology*. 2020. V. 422. N. 106095. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2019.106095>.
14. Lemos C., Floc'h F., Yates M., Le Dantec N., Marieu V., et al. Equilibrium modeling of the beach profile on a macrotidal embayed low tide terrace beach // *Ocean Dynamics*. 2018. V. 68. P. 1207–1220.
15. Ludka B. C., Guza R. T., O'Reilly W. C., Yates M. L. Field evidence of beach profile evolution toward equilibrium // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2015. V. 120. P. 7574–7597.
16. Montano J., Coco G., Antolínez J.A. A., Beuzen T., Bryan K. R., Cagigal L., Castelle B., Davidson M. A., Goldstein E. B., Ibaceta R., Idier D., Ludka B. C., Masoud-Ansari S., Méndez F. J., Murray A. B., Plant N. G., Ratliff K. M., Robinet A., Rueda A., Sénéchal N., Simmons J. A., Splinter K. D., Stephens S., Townend I., Vitousek S., Vos K. Blind testing of shoreline evolution models // *Scientific Reports*. 2020. N. 10. 2137. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59018-y>.

17. Лопатухин Л. И., Яицкая Н. А. Волновой климат Каспийского моря. Входные данные по ветру для гидродинамического моделирования и некоторые результаты расчетов // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 1. С. 12–21. <https://doi.org/10.31857/S0030-15745912-21>.
18. Яицкая Н. А., Швердяев И. В., Магаева А. А., Бригида В. С. Реконструкция опасных нагонов в Северном Каспии на основе цифровых моделей рельефа дна и гидрологического моделирования // *Наука Юга России*. 2021. Т. 17. № 3. С. 18–29. <https://doi.org/10.7868/S25000640210303>
19. Лопатухин Л. И., Яицкая Н. А. Особенности подхода к расчету режима ветрового волнения Каспийского моря // *Метеорология и гидрология*. 2018. № 4. С. 54–61.
20. Голик В. И., Лукьянов В. Г., Хашева З. М. Обоснование возможности и целесообразности использования хвостов обогащения руд для изготовления твердеющих смесей // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2015. Т. 326. № 5. С. 6–14. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/11/2883>.
21. Тимченко З. В., Табунщик В. А. Гидрографические и гидрологические характеристики реки Хору (Кечит-Су) // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология*. 2020. № 3. С. 392–401.
22. Яицкая Н. А. Математическое моделирование ветрового волнения Азовского моря // *Труды Южного научного центра Российской академии наук*. 2020. Т. 8. С. 86–96. <https://doi.org/10.23885/1993-6621-2020-8-86-96>.
23. Golik V. I., Dmitrak Yu. V., Brigida V. S. Impact of duration of mechanochemical activation on enhancement of zinc leaching from polymetallic ore tailings // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. V. 5. P. 47–54. <https://doi.org/10.33271/NVNGU/2020-5/047>.
24. Бейсембаева М. А., Дубровская Л. И., Земцов В. А. Антропогенные изменения водных ресурсов и максимальных уровней реки Иртыш в равнинной части бассейна в Республике Казахстан // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018. Т. 329. № 3. С. 6–15.
25. Ергина Е. И., Жук В. О. Пространственно-временная изменчивость климата зимних сезонов в Крыму // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология*. 2018. № 1. С. 104–121.
26. Бригида В. С., Голик В. И., Дмитрак Ю. В., Габараев О. З. Обеспечение устойчивости подрабатываемых наклонных дегазационных скважин при интенсивной разработке свит газоносных угольных пластов // *Записки Горного института*. 2019. Т. 239. С. 497–501. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.5.497>.
27. Джиоева А. К., Бригида В. С. Пространственная нелинейность динамики метановыделения в подземных скважинах для устойчивого развития геотехнологий // *Записки Горного института*. 2020. Т. 245. С. 522–530. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.5.3>.
28. Ciritci D., Türk T. Automatic Detection of Shoreline Change by Geographical Information System (GIS) and Remote Sensing in the Göksu Delta, Turkey. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2019. V. 47(2). P. 233–243. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-00947-1>.
29. Duc D. M., Yasuhara K., Hieu N. M., Lan N. Ch. Climate change impacts on a large-scale erosion coast of Hai Hau district, Vietnam and the adaptation. *Journal of Coastal Conservation*. 2017. V. 21. N. 1. P. 47–62. <https://doi.org/10.1007/s11852-016-0471-7>.
30. Агарзаева Б. А. Исследование ветрового режима Бакинской бухты // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология*. 2020. № 1. С. 200–205.
31. Холопцев А. В., Подпорин С. А., Курочкин Л. Е. Особенности многолетних изменений среднего уровня Чёрного моря (по результатам реанализа GLORYS12V.1) // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология*. 2021. № 1. С. 252–264.

ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ
КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

32. Голик В. И., Комашенко В. И. Отходы обогащения железистых кварцитов как сырье для доизвлечения металлов и использования в качестве закладочных смесей // Горный журнал. 2017. № 3. С. 43–47.
33. Хайрутдинов М. М., Конгар-Сюрюн Ч. Б., Тюляева Ю. С., Хайрутдинов А. М. Бесцементные закладочные смеси на основе водорастворимых техногенных отходов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 11. С. 30–36. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/11/2883>.

**SEASONAL VARIABILITY ESTIMATION FOR WIND WAVES IN THE
CASPIAN SEA WHILE ENSURING SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF
COASTAL TERRITORIES**

Brigida V. S.

*Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi,
Russian Federation
E-mail: 1z011@inbox.ru*

Coastal areas provide most of the ecosystem services on the Caspian and Black Sea coasts, providing high potential for future economic growth in tourist destinations. At the same time, they are highly susceptible to the combined effect of the dangers changes in wind wave regimes and accelerated coastal erosion. Coastline stability is largely associated with the adaptive capacity assessment of natural and technical systems to anthropogenic and climatic changes. In this regard, ensuring sustainable development of coastal areas remains an urgent scientific and technical problem in the regions of recreational and tourist specialization.

Most of the research is focused on the use of hydrodynamic models (SWAN, WaveWatch, TOMAWAC) in combination with data from digital bottom models using GIS technologies (QGIS, ArcGIS). The simulation result is a maps set of spatial distributions by wind waves for each specific time value. At the same time, the validation of distributions obtained point, as well as the validity of the “goodness-of-fit” criteria, remains a debatable issue. Based on this, questions remain about the applicability of one or another geostatistics method (deterministic, stochastic or machine learning) for spatial approximation of hydrodynamic modeling results. Stochastic nature of wave motion combined with anthropogenic impact on coastline geomorphology pose significant uncertainty when modeling the considered processes. From the analysis of coastline dynamics models (ShoreFor, COCOONED, Random Forest, etc.), it was revealed that providing reliable forecasts remains a difficult task, both in the presence of long time series and for short-term scenarios. In this case, a plane problem (two-dimensional view) is mainly considered. This causes the problem of improving the general methodological approach to the approximation of spatiotemporal data in continuous multifactorial processes. For this reason, expanding understanding of the intra-annual variability of wind waves, which initiates changes in coastal areas, improves the quality of forecasting natural risks to mitigate negative consequences in coastal areas. The purpose of the study was to assess the intra-annual variability of wind wave’s distribution (a factor of acceleration of erosion processes). Application of deterministic

methods of spatial interpolation based on finite elements is significantly limited compared to stochastic methods (kricking). In this regard, the author's approach was used to overcome the main drawback of this method while increasing the reliability of the models obtained. Typical results of the wave climate hydrodynamic modeling for arbitrary five points on Caspian Sea surface were taken as initial data [17]. The assessment of intra-annual dynamics was made using of the locally estimated scatter plot smoothing (Savitzky–Golay filter) in combination with three-dimensional interpolation on Robert Renka's algorithm. Thus, for the first time, in order to identify the features of seasonal variability in the height of significant waves, when interpreting the array of data time series (in the plane (Hs-t), according to the planned approach, spatial orientation parameters were added in reference to the terrain (P). This made it possible to establish a dependence that reflects the process under study in the form of a surface (Hs from t-P).

As a result of the work, dependence was obtained (in response surface form) spatio-temporal changes in Caspian Sea hydrodynamics. Novelty of established patterns – magnitude of significant wave height in summer changes according to the polynomial law with peak formation (+ 26%) at the measuring point No.2. In addition, it was found that the seasonality of wind waves from October to February alterations according to a polynomial law, with the formation of a maximum (+13%) with a decrease in the number of reference points from No. 4 to No. 1 in the direction from south to north. From the foregoing, it follows that migration and changes in the zones size of local maxima are inherent in the non-linear nature, which at the same time (for a separate point No. 5) may not appear for all points response functions. In general, the surface shape of process under study, namely its projection onto the frontal plane, is in good agreement with the results of similar studies. Thus, the spatial regularities of the wave waves nonlinear dynamics are determined, which are manifested in a size change of local maxima zones and their migration in the P-t plane. The research technique can be used for natural and technical systems design and greening of the tourist product in coastal areas.

Keywords: Caspian Sea, wave motion, beaches erosion, greening tourist destinations, coastal zones.

References

1. Sorokin D. E., Sharafutdinov V. N., Onishhenko E. V. O problemah strategirovaniya razvitiya turizma v regionah Rossii (na primere Krasnodarskogo kraja i goroda-kurorta Sochi) (On the problems of strategic development of tourism in the regions of Russia (illustrated by the Krasnodar region and the resort city of Sochi)). *Ekonomika regiona*, 2017, v. 13, no. 3, pp. 764-776. (In Russ). <https://doi.org/10.17059/2017-3-10>. (in Russian).
2. Khasheva Z. M., Golik V. I., Kravchenko N. P., Milovanov V. F., Adamyam Zh. A. Analysis of environmental factors of enterprise at the regional market of oil products. *Revista San Gregorio*, 2019, no. 30, pp. 95–103.
3. Koval V., Mykhno Y., Antonova L., Plekhanov D., Bondar V. Analysis of environmental factors' effect on the development of tourism. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2019, v. 28(3), pp. 445–456. <https://doi.org/10.15421/111941>.
4. Ryl'nikova M. V. Garmonichnoe razvitie gornoj promyshlennosti, nauki i vysshego gornogo obrazovaniya – garantija ustojchivogo sostojaniya gornopromyshlennyh regionov Rossii (The harmonious development of mining, science and higher education – guarantee of the stable condition of the mining regions of Russia). *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2020, v. 12, no. 1(43), pp. 154-161. (In Russ). <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-1-154-161>. (in Russian).

ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ
КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

5. Kiriyanova L. G., Surtseva A. A., Yumatov K. V., Pyatovskiy A. A. Tourism as a «post-staples» diversification for Russian remote resource-dependent regions: a new path for Kuzbass. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurosov*, 2019, v. 330, no. 10, pp. 230–239. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/10/2319>. (in Russian).
6. Brigida, V. S., Mishulina, S. I., Stas, G. V. Perspektivnyye napravleniya jekologizacii strukturnyh jelementov turistskogo produkta Krasnodarskogo kraja (na primere transportnoj sostavljajushhej) (Perspective directions of “ecologisation” of structural elements of a tourist product of Krasnodar region (case study of transportation component)). *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2020, v. 12, no 1, pp. 24–25. (In Russ). <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-1-18-25>. (in Russian).
7. Vasenko V. I., Vahrushev B. A., Chaban V. V. Sovremennoe sostojanie i antropogennoe vlijanie na pribrezhnye ozera Kryma (The current state and anthropogenic impact on the coastal lakes of Crimea). *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografija. Geologija*, 2021, no. 1, pp. 226–240. (in Russian).
8. Molina R., Manno G., Lo Re C. Storm energy flux characterization along the Mediterranean coast of Andalusia (Spain). *Water*, 2019, v. 11, art. no. 509. <https://doi.org/10.3390/w11030509>.
9. Piralzi Zefrehei A. R., Fallah M., Hedayati A. Applying remote sensing techniques to changes of water body and aquatic plants in Anzali International Wetland (1985–2018). *Theoretical and Applied Ecology*, 2021, no. 1, pp. 65–72. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-1-065-072>.
10. Díaz-Cuevas P., Prieto-Campos A., Ojeda-Zújar J. Developing a beach erosion sensitivity indicator using relational spatial databases and Analytic Hierarchy Process. *Ocean and Coastal Management*, 2020, v. 189, art. no. 105146. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105146>.
11. Sytnik O., Río L. D., Greggio N., Bonetti J. Historical shoreline trend analysis and drivers of coastal change along the Ravenna coast, NE Adriatic. *Environmental Earth Sciences*, 2018, v. 77, art. no. 779. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7963-8>.
12. Evseeva N. S., Romashova T. V. Opasnye meteorologicheskie javlenija kak sostavnaja chast' prirodnoho riska (na primere juga Tomskoj oblasti) (Dangerous meteorological phenomena as an integral part of natural risk (on the example of the south of the Tomsk region)). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 353. pp. 199–204. (in Russian).
13. Latapy A., Hekette A., Nicolle A., Pouvreau N. Influence of shoreface morphological changes since the 19th century on nearshore hydrodynamics and shoreline evolution in Wissant Bay (northern France). *Marine Geology*, 2020, v. 422, art. no. 106095. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2019.106095>.
14. Lemos C., Floc'h F., Yates M., Le Dantec N., Marieu V., et al. Equilibrium modeling of the beach profile on a macrotidal embayed low tide terrace beach. *Ocean Dynamics*, 2018, v. 68, pp. 1207–1220.
15. Ludka B. C., Guza R. T., O'Reilly W. C., Yates M. L. Field evidence of beach profile evolution toward equilibrium. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2015, v. 120, pp. 7574–7597.
16. Montano J., Coco G., Antolinez J.A. A., Beuzen T., Bryan K. R., Cagigal L., Castelle B., Davidson M. A., Goldstein E. B., Ibaceta R., Idier D., Ludka B. C., Masoud-Ansari S., Méndez F. J., Murray A. B., Plant N. G., Ratliff K. M., Robinet A., Rueda A., Sénéchal N., Simmons J. A., Splinter K. D., Stephens S., Townend I., Vitousek S., Vos K. Blind testing of shoreline evolution models. *Scientific Reports*, 2020, no. 10, art. no. 2137. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59018-y>.
17. Lopatoukhin L. I., Yaitskaya N. A. Wave Climate of the Caspian Sea, Input Wind Data for Hydrodynamic Modeling, and Some Calculation Results. *Oceanology*, 2019, v. 59, no. 1, pp. 7–16. <https://doi.org/10.1134/S0001437019010120>.
18. Yaitskaya N. A., Sheverdjaev I. V., Magaeva A. A., Brigida V. S. Rekonstrukcija opasnyh nagonov v Severnom Kaspii na osnove cifrovyh modelej rel'efa dna i gidrologicheskogo modelirovanija (Reconstruction of hazardous landfills in the Northern Caspian Sea based on digital models of the bottom relief and hydrological modeling). *Nauka Juga Rossii*, 2021, v. 17. no. 3, pp. 18–29. <https://doi.org/10.7868/S25000640210303>. (in Russian).
19. Lopatoukhin, L. I., Yaitskaya, N. A. Data of Wind Field Reanalysis over the Caspian Sea for Calculating the Regime of Wind Waves. *Water Resources*, 2019, v. 46, no. 6, pp. 926–933. <https://doi.org/10.1134/S0097807819060125>.
20. Golik V. I., Lukyanov V. G., Khasheva Z. M. Obosnovanie vozmozhnosti i celesoobraznosti ispol'zovanija hvostov obogashhenija rud dlja izgotovlenija tverdejushhih smesej (Rationale for feasibility of using ore

- tailings for manufacturing hardening mixtures). *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*, 2015, v. 326, no. 5, pp. 6–14. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/11/2883>. (in Russian).
21. Timchenko Z. V., Tabunshhik V. A. *Gidrograficheskie i gidrologicheskie karakteristiki reki Horu (Kechit-Su) (Hydrographic and hydrological characteristics of the Khoru River (Kechit-SU))*. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografija. Geologija*, 2020, no. 3, pp. 392–401. (in Russian).
 22. Yaitskaya N. A. *Matematicheskoe modelirovanie vetrovogo volnenija Azovskogo morja (Mathematical modeling of wind waves of the Sea of Azov)*. *Trudy Juzhnogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2020, v. 8, pp. 86–96. <https://doi.org/10.23885/1993-6621-2020-8-86-96>. (in Russian).
 23. Golik V. I., Dmitrak Yu. V., Brigida V. S. *Impact of duration of mechanochemical activation on enhancement of zinc leaching from polymetallic ore tailings*. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2020, v. 5, pp. 47–54. <https://doi.org/10.33271/NVNGU/2020-5/047>.
 24. Bejsembaeva M. A., Dubrovskaja L. I., Zemcov V. A. *Antropogennye izmenenija vodnyh resursov i maksimal'nyh urovnej reki Irtysh v ravninnoj chasti bassejna v Respublike Kazahstan (Anthropogenic changes in water resources and maximum levels of the Irtysh River in the plain part of the basin in the Republic of Kazakhstan)*. *Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*, 2018, v. 329, no. 3, pp. 6–15. (in Russian).
 25. Ergina E. I., Zhuk V. O. *Prostranstvenno-vremennaja izmenchivost' klimata zimnih sezonov v Krymu (Spatial and temporal variability of the climate of winter seasons in the Crimea)*. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografija. Geologija*, 2018, no. 1, pp. 104–121. (in Russian).
 26. Brigida V. S., Golik V. I., Dmitrak Yu. V., Gabaraev O. Z. *Ensuring Stability of Undermining Inclined Drainage Holes During Intensive Development of Multiple Gas-Bearing Coal Layers*. *Journal of Mining Institute*, 2019, v. 239, pp. 497–501. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.5.497>.
 27. Dzhioeva A. K., Brigida V. S. *Spatial non-linearity of methane release dynamics in underground boreholes for sustainable mining*. *Journal of Mining Institute*, 2020, v. 245, pp. 522–530. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.5.3>.
 28. Ciritci D., Türk T. *Automatic Detection of Shoreline Change by Geographical Information System (GIS) and Remote Sensing in the Göksu Delta, Turkey*. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2019, v. 47(2), pp. 233–243. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-00947-1>.
 29. Duc D. M., Yasuhara K., Hieu N. M., Lan N. Ch. *Climate change impacts on a large-scale erosion coast of Hai Hau district, Vietnam and the adaptation*. *Journal of Coastal Conservation*, 2017, v. 21, no. 1, pp. 47–62. <https://doi.org/10.1007/s11852-016-0471-7>.
 30. Agarzaeva B. A. *Issledovanie vetrovogo rezhima Bakinskoy buhty (Investigation of the wind regime of the Baku Bay)*. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografija. Geologija*, 2020, no. 1, pp. 200–205. (in Russian).
 31. Holopcev A. V., Podporin S. A., Kurochkin L. E. *Osobennosti mnogoletnih izmenenij srednego urovnja Chjornogo morja (po rezul'tatam reanaliza GLORYS12V.1) (Features of long-term changes in the average level of the Black Sea (according to the results of the GLORYS12V.1 reanalysis))*. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografija. Geologija*. 2021. № 1. С. 252–264. (in Russian).
 32. Golik V. I., Komashhenko V. I. *Othody obogashhenija zhelezistykh kvarcitolov kak syr'e dlja doizvlechenija metallov i ispol'zovanija v kachestve zakladochnyh smesej (Waste from the enrichment of ferruginous quartzites as raw materials for the recovery of metals and use as laying mixtures)*. *Gornyj zhurnal*, 2017, no. 3, pp. 43–47. (in Russian).
 33. Khayrutdinov M. M., Kongar-Syuryun C. B., Tyulyaeva Y. S., Khayrutdinov A. M. *Bescementnye zakladochnye smesi na osnove vodorastvorimyh tehnogennyh othodov (Cementless backfill mixtures based on water-soluble manmade waste)*. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*, 2020, v. 331, no. 11, pp. 30–36. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/11/2883>. (in Russian).

Поступила в редакцию 07.10.2021 г.