

ЛАНДШАФТНО-БИОНОМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А ФИТОПЛАНКТОНА В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Т.Д. Ракитин

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

Эл. почта: tikhrakitin13@gmail.com

Статья поступила в редакцию 03.01.2024; принята к печати 30.04.2024

Нерито-пелагиаль (береговая зона) представляет собой прибрежное ступение жизни. Здесь наблюдается активное развитие фитопланктона, которое поддерживает продуктивность всех последующих трофических звеньев морской экосистемы. «Цветение» фитопланктона происходит в выделах береговой зоны и шельфа благодаря активному поступлению терригенного материала и биогенных веществ с выносами стоков рек. Для исследования пространственно-временной динамики концентрации хлорофилла-а фитопланктона в береговой зоне северо-западной части Японского моря предлагаются два метода: ландшафтно-бионическое районирование и космический мониторинг. Первый основан на теории ландшафтно-бионического районирования береговой зоны моря, предложенной К.М. Петровым. В нем учитываются региональные особенности «цветения» фитопланктона, в которых отводится значительная роль трем направлениям изменения природных условий – вертикальной, широтной и азональной. Во втором методе заложены архивные данные дистанционного зондирования – космического мониторинга с полярно-орбитального спутника «Aqua» (NASA). На основе космических снимков, полученных сканером MODIS, сравниваются показатели температуры поверхности воды и концентрации хлорофилла-а за 20 лет (2003–2022 годы). Ключевой момент статьи – это совместное использование результатов ландшафтно-бионического районирования и космического мониторинга для выявления закономерностей в изменениях ландшафтно-бионических условий среды и спутниковых данных по температуре и концентрации хлорофилла-а фитопланктона в береговой зоне северо-западной части Японского моря. Комплексный подход послужит необходимым инструментом для рационального использования водных биоресурсов, кроме того, спутниковые данные могут быть применимы для построения долгосрочного прогноза изменчивости климата в регионе.

Ключевые слова: Японское море, ландшафтно-бионическое районирование, тектоника, морфоструктуры, береговая зона, космический мониторинг, Aqua-MODIS, температура, фитопланктон, хлорофилл-а.

LANDSCAPE-BIONOMIC ZONING AND SPATIAL-TEMPORAL MULTIYEAR DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION IN THE COASTAL ZONE OF THE NORTHWESTERN PART OF THE SEA OF JAPAN

T.D. Rakitin

Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Email: tikhrakitin13@gmail.com

Nerhyto-pelagicals (the coastal zone) is where life is especially abundant. Phytoplankton development supports the productivity of all subsequent trophic links of a marine ecosystem. Phytoplankton «blooming», takes place in the coastal zones due to terrigenous and biogenic materials supplied by rivers. To study the spatial-temporal dynamics of phytoplankton chlorophyll-a in the coastal zone of the northwest of the Sea of Japan, we are employed two approaches: landscape-bionomic zoning and space monitoring. The first one is based on the theory suggested by K.M. Petrov. According to it, the regional features of phytoplankton «blooming», in the coastal are regarded with account for three vectors of changes in natural conditions – vertical, latitudinal and azonal. The second approach is based on remote sensing data available due to the operation of the polar-orbital satellite «Aqua», NASA. The satellite data, i.e. space images, allows comparing sea surface temperature with chlorophyll concentration based on numerical data obtained with the MODIS-Aqua spectroradiometer in 2003 through 2022. The key feature of present study is the joint use of the two approaches for delineating of regularities of changes in landscape-bionomic environmental conditions and in remote data on temperature and chlorophyll levels in the coastal zone of the northwest of the Sea of Japan.

Keywords: the Sea of Japan, landscape-bionomic zoning, tectonics, morphological structures, remote monitoring, Aqua-MODIS, temperature, phytoplankton, chlorophyll-a.

Введение

Глобальная система единиц биономического (экологического) районирования морских бассейнов предназначена для описания экологических условий Мирового океана [32]. Для регионального уровня создана теоретическая система единиц районирования морских бассейнов, разработанная К.М. Петровым. В его теории о ландшафтно-биономическом районировании учитываются морфоструктурные формы рельефа и экологические условия акватории в пределах береговой зоны (БЗ). В принципах теории раскрываются три направления изменения природных условий – вертикальной, зональной и азональной [21, 22, 30].

В системе единиц вертикального распределения особое внимание уделено верхнему поясу шельфа, структурные единицы которого обозначены как литораль и сублитораль. Верхний пояс хорошо освещен летом, отделен от градиента температур в верхних и нижних слоях водных масс и обогащается терригенным материалом и биогенными веществами в весенне-осенние периоды. В зональном отношении изучаемые акватории относятся к холоднореальной (северное Приморье, Татарский пролив, северный Сахалин) и теплореальной (южное Приморье и Сахалин) зонам, границы которых выделяются по изотерме 5 °C [13]. В основу азонального (морфоструктурного) районирования заложен тектогенный морфоструктурный принцип, раскрывающий региональные особенности морфоструктур и подводного морского ландшафта БЗ.

В районах северо-западной части Японского моря насчитывается примерно 700 видов фитопланктона [15]. По богатству на первом месте стоят динофлагелляты (*Dinophyta*) – примерно 340 видов, на втором – диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*) – около 270 видов, на третьем – зеленые водоросли (*Chlorophyta*) – 23, на четвертом – золотистые водоросли (*Chrysophyta*) – 10 видов и др. Согласно К.М. Петрову и др. [21, 22] здесь господствуют различные виды фитобентоса: фукусовые (*Fucus evanescens*, *Pelvetia wrightii*), бурые (*Saccharina japonica*, *S. cichorioides*; *Sargassum pallidum*, *S. miyabei*, *Costaria costata*, *Agarum clathratum*) и красные водоросли (*Ptilota filicina*, *Tichocarpus crinitus*, членистые кустики известковой водоросли *Bossiella cretacea*) и цветковые травянистые растения (*Zostera marina*, *Z. asiatica*). По характеру грунта твердого или рыхлого можно судить о его обитателях: подвижные или бродячие формы животных (крабы, раки, трепанги, морские ежи и звезды и др.) и неподвижная или sessильная фауна (губки, мидии, асцидии, серпулиды и др.) предпочитают твердый или каменистый грунт; на рыхлой или мягкой поверхности живут ползающие или закапывающиеся в грунт беспозвоночные животные (голотурия, морские ежи и звезды, полихеты и др.) и ведущие не-

подвижный образ жизни в рыхлых песках (инфауна), например крупный двустворчатый моллюск – фильтратор-гребешок (пектинида).

Масштабные исследования океанов и морских экосистем береговой зоны построены на современных технических возможностях дистанционного зондирования Земли с использованием беспилотных летательных аппаратов (дронов) и метеорологических спутников [28, 34]. Технические возможности метеорологических спутников, например «Aqua», широко применяются для масштабного и комплексного изучения: океанов, морей, заливов, региональных и локальных морских экосистем и пространственного распределения фитопланктона [29, 30]. Однако, как отмечено Р.Р. Станичной и др. [24], наличие различных цветных пигментов хлорофилла (b, c, d и др.), определяемых в спектральном диапазоне 429–710 нм [33], погрешности спутниковых сканеров, а в водной среде минеральной взвеси, гуминовых соединений, детрита и желтого вещества [2, 25] могут повышать значения хлорофилла-а ($Chl-a_{спут}$) по сравнению с результатами судовых данных [27]. Подобное отмечено в работах П.В. Лобановой [16] и В.И. Звалинского [11]. Исследователи проводили схожие наблюдения, в основе которых были судовые и спутниковые данные по Chl. При сравнении данных было выяснено, что значения температуры и хлорофилла, полученные со спутника, могут превышать полученные с судна [12]. Для улучшения качества дешифрирования снимков оно проводится в 2 этапа: сначала описательный анализ космических изображений, в которые включены спутниковые параметры температуры поверхности воды ($ТПВ_{спут}$) и концентрации хлорофилла-а ($Chl-a_{спут}$) [23]; затем эти величины подвергаются интеграции в матрицы данных для дальнейших математических расчетов.

Значение исследования состоит в том, что в нем одновременно задействованы ландшафтно-биономическое районирование и космический мониторинг для изучения сезонной изменчивости $ТПВ_{спут}$ и $Chl-a_{спут}$ фитопланктона за 20 лет (2003–2022 годы) для каждого района и проведен поиск закономерностей между типом рельефа побережья и пространственным распределением фитопланктона северо-западной части Японского моря

Объект, методы и материалы исследования

Северо-западная часть Японского моря располагается в отметках географических координат 40–55° с.ш. 130–144° в.д. Области ландшафтно-биономического районирования вытягиваются с юга на север. Границы областей (районов) пролегают от береговой линии до бортики шельфа:

1. Сихотэ-Алиньская область: 1.1. Южно-приморский (41–43° с.ш. и 131–133° в.д., м. Гамова и м. Лихаче-

ва) и 1.2. Центрально-приморский районы (42–46° с.ш. и 133–139° в.д., м. Лихачева и м. Бакланий);

II. Сахалинская область: 2.1. Северный район (49–52° с.ш. и 142–143° в.д., м. Тык и м. Ламанон), 2.2. Перешеек поясок (47–49° с.ш. и 142–143° в.д., м. Ламанон и м. Яблоновый) и 2.3. Южный район (46–47° с.ш. и 142–143° в.д., м. Яблоновый и м. Криньон);

III. Область северной части Татарского пролива мелководная и соединяет континентальную и островную сушу (52–53° с.ш. и 141–142° в.д. и 49–52° с.ш. и 142–143° в.д., м. Южный и м. Тык – нижняя граница; 54° с.ш. и 141–142° в.д., зал. Счастья и о. Байдукова – верхняя граница).

Для изучения морфоструктур и распределения фитопланктона вдоль япономорских берегов проведено ландшафтно-биономическое районирование вышеуказанных областей, посредством использования космического изображения Японского моря SASPlanet-GoogleEarth Pro и дальнейшей его обработки в ArcGISPro. Вымерен батиметрический профиль шельфа районов. Результаты отображены в программе Surfer (v.20.1.195).

Для районов северо-западной части Японского моря были отобраны и систематизированы архивные космические изображения с официального сайта NASA, OceanColorWeb. Всего получено ТПВспут (240 снимков) и Chl-аспут (240 снимков) изображений в форматах (jpg, NetCDF) за 20 лет (2003–2022 годы) с заданными стандартными параметрами (уровень обработки L3, временное осреднение по месяцам, пространственное разрешение 4 км)¹ [29]. Полученные файлы обрабатывались в SeaDAS (версия 8.4.1) и ArcGISPro (версия 10.8.1). Извлеченные значения ТПВспут (°C) и концентрации Chl-аспут (мг/м³) экспортировались в Excel для дальнейшего наглядного представления в форме графиков и расчета средних значений и среднеквадратичных отклонений ($M \pm \sigma$).

Результаты исследования и обсуждение

1. Ландшафтно-биономическое районирование

1.1. Положение районов исследований в системе единиц вертикального и зонального подразделений

Вертикальное подразделение. БЗ и шельф относятся к неритическому ярусу, который подразделяется на три пояса: верхний пояс шельфа находится в пределах волнового воздействия, ему присуща сезонная ритмика (прежде всего прогрев в теплый период года) и высокая освещенность, обеспечивающая обилие фитопланктона и формирование сообществ макрофитов [3]. Средний пояс шельфа располагается ниже термо-

клина, влияние волнения ослаблено, сезонная ритмика слабо выражена, освещенность низкая. Нижний пояс шельфа соответствует перегибу профиля дна в сторону материкового склона [22].

БЗ предоставляет оптимальные условия для развития фитопланктона, причем его активность часто подвержена значительным региональным и сезонным изменениям (рис. 1).

На рис. 1 видно, что в то время как в центральной части моря интенсивность «цветения» низкая, за исключением апрельского «бума», в прибрежных акваториях северо-западной части Японского моря отмечается повышенная активность микроводорослей.

Зональное подразделение. Акватория северо-западной части Японского моря относится к двум зонам – холодно- и теплобореальной, границей между ними служит февральский диапазон температур 0–5 °C. Прибрежные воды у Горной страны Сихотэ-Алинь на севере и в центре Приморья, Татарского пролива и на севере о. Сахалин относятся к холоднобореальной зоне. Зимой море замерзает. Воды берегов южного Приморья и юга о. Сахалин и северной части о. Хоккайдо находятся под воздействием теплого Цусимского течения, они относятся к теплобореальной зоне [13].

Фитопланктон холоднобореальной зоны представлен видами диатомовых (*Skeletonema costatum*, *Thalassiosira nordenskioeldii*, *Cylindrotheca closterium*, *Chaetoceros debili*, *Ch. Affinis*, *Thalassionema nitzschioides*, *Cylindrotheca Closterium* и др.) водорослей, а в теплобореальной преобладают теплолюбивые динофлагелляты (*Thalassomonas caeca*, *Th. pussila*, *Pterosperma sp.*, *Pyramimonas sp.*, *Scenedesmus quadricauda* и др.) [15].

В холоднобореальной зоне литорали господствуют заросли фукусовых водорослей (*Fucus evanescens*, *Pelvetia wrightii*). Растительность верхней и средней сублиторали пояса скал представлена зарослями, в которых господствуют бурые (*Saccharina japonica*, *S. cichorioides*; *Sargassum pallidum*, *S. miyabei*, *Costaria costata*, *Agarum clathratum*) и красные водоросли (*Ptilota filicina*, *Tichocarpus crinitus*, членистые кустики известковой водоросли *Bosiella cretacea*). Местами встречаются крупные куртины морской травы *Phyllospadix iwatensis*. В нижней сублиторали каменистые поверхности обрастают корковыми водорослями [22]. В Татарском проливе на рыхлых грунтах обширные заросли, представляющие иногда промысловый интерес, образует морская трава *Zostera asiatica* и *Z. marina* [9, 10].

Литораль Южного Сахалина (к югу от Невельска) относится к теплобореальной зоне – заросли фукусовых отсутствуют. Здесь характерны *Sargassum pallidum*, *S. miyabei* и плотные сообщества *Corallina pilulifera* («кораллиновые тротуары») [21].

¹ NASA. OceanColorWEB Data. URL: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/aqua/> (Accessed: 20.09.2022).

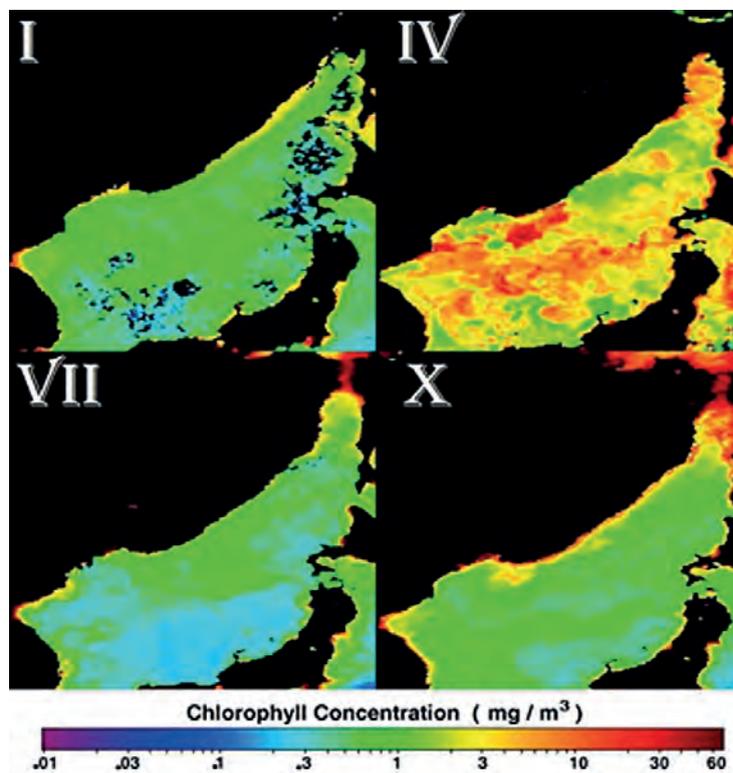


Рис. 1. Полученные космической съемкой концентрации хлорофилла (мг/м³) в один из месяцев каждого сезона в Японском море (по данным полярного орбитального спутника MODIS-«Aqua», NASA, 2022 год).

Сезоны: I – зима (январь), IV – весна (апрель), VII – лето (июль), X – осень (октябрь)

1.2. Азональное (морфоструктурное) районирование северо-западной части Японского моря

Морфоструктурное районирование раскрывает региональные особенности природы БЗ. В основе такого районирования лежит тектогенный морфоструктурный принцип. В северо-западной части Японского моря выделяются следующие области и районы (рис. 2).

В **Сихотэ-Алинской области** выделяются 2 района: 1.1. Южно-приморский и 1.2. Центрально-приморский.

Сихотэ-Алинская и Островная Сахалинская области (за исключением районов Южно-приморского и Перешейка Поясок) имеют много общего: берега Горной страны Сихотэ-Алинь и Западно-Сахалинских гор продольного типа с береговым каменистым скалом, берег окаймлен поясом скал, шельф узкий.

В **Южно-приморском районе** хребты простираются по нормали к берегу (берега поперечного типа), которые испытывают замедленную депрессию и преобладают прибрежные рiasовые низменности с четвертичными отложениями [18, 19]. Здесь формируются разделенные мысами глубоко врезанные в сушу мелководные заливы: Амурский, Усурийский, Петра Великого и многочисленные острова, берега высокие, встречается чередование абразионно-ингрессионных

и абразионно-бухтовых берегов с аккумулятивным пляжем и холмиками на материковой отмели [14], шельф широкий до 100 км (рис. 3).

Бентосные формы организмов распределяются по угодьям. На угодье каменистых или твердых грунтов, представленных поясом скал и камней, закреплена крупная бурая водоросль – ламинария или сахарина (*Saccharina japonica*), на верхней-средней литорали (0–5 м) простираются фукусовые водоросли (*Fucus evanescens*, *Pelvetia wrightii*, *Cystoseira crassipes*, *Coccolophora langsdorffii*), ниже прилегает угодье песчаных грунтов с характерными зарослями травянистой растительности (*Zostera marina*) [17, 22].

Угодье песчаных грунтов населено беспозвоночными животными: мидиями, губками, серпулидами и др. По дну ползают морские звезды, ежи и др. Пояс скал опоясывается угодьем песчаных или мягких грунтов, на месте которых произрастают заросли – зостеры, являющиеся укрытием для песчаной креветки «черный глаз» (*Crangon dalli*), но мягкий песок выступает «домиком», куда закапываются креветка и полихета сколопос (*Scoloplos armiger*). По мягкому грунту ползают трепанги и морские ежи, кроме них лежат двустворчатые моллюски – морские гребешки Pectinidae [1, 6].

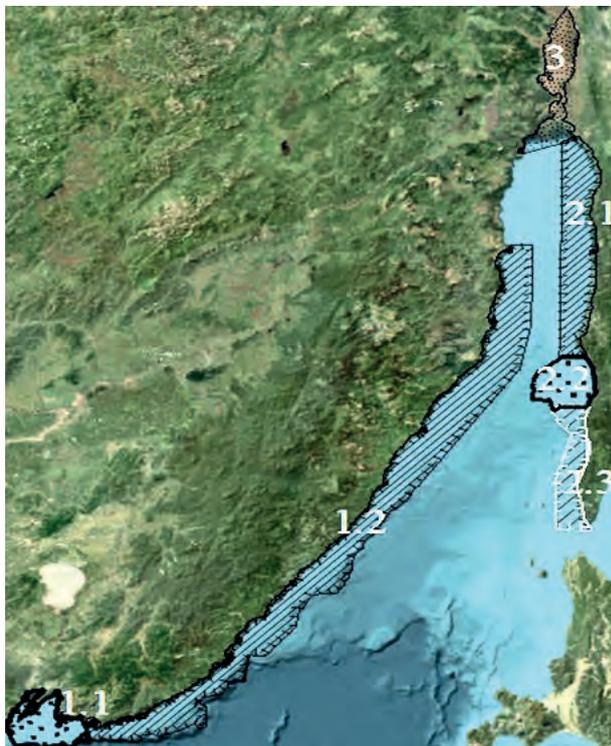


Рис. 2. Ландшафтно-биологическое районирование полигонов с границами районов береговой зоны и шельфа северо-западной части Японского моря. Цифровая модель карты Японского моря. Масштаб 1:12500000. Обработано в ArcGISPro
Условные обозначения: I. Сихотэ-Алиньская область, районы – 1.1. Южно-приморский и 1.2. Центральнo-приморский; II. Островная Сахалинская область, районы – 2.1. Северный район, 2.2. Перешеек Поясок и 2.3. Южный район; III. Область северной части Татарского пролива.

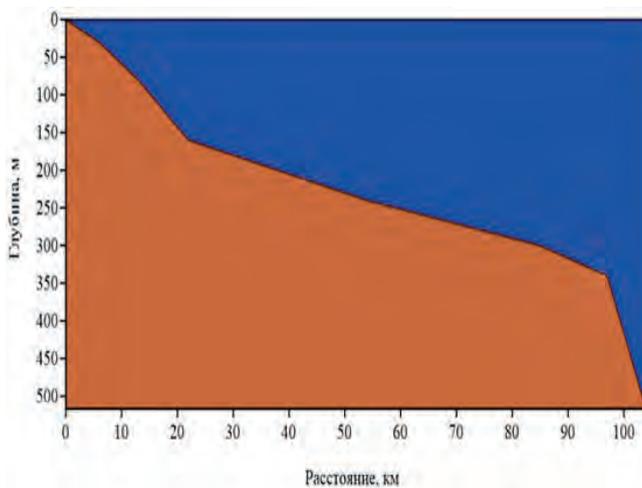


Рис. 3. Батиметрический профиль залива Петра Великого в Южно-приморском районе (по данным морской навигационной карты)

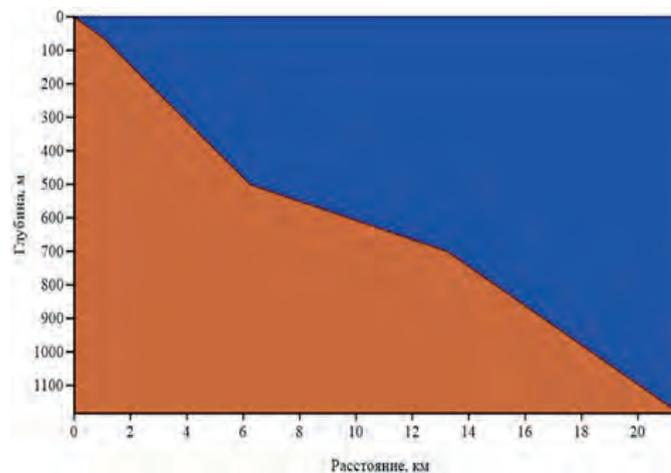


Рис. 4. Батиметрический профиль шельфа в Центральнo-приморском районе Сихотэ-Алиньской области (по данным морской навигационной карты)

Центрально-приморский район характеризуется продольными берегами, где оси складок направлены параллельно к берегу, испытывающему интенсивное поднятие. Берега денудационно-абразионные, слабо-изрезанные, высокие, с активным клифом, шельф узкий около 27 км (рис. 4).

В литорали господствуют заросли фукусовых водорослей (*Fucus evanescens*, *Pelvetia wrightii*), а также – брюхоногий моллюск (*Littorina*) и известковые «колпачки» усоногих раков (*Balanus*) и (*Chthamalus*). Верхнюю сублитораль занимает пояс ламинарий (*Saccharina japonica*). Для средней сублиторали характерны бурые водоросли (*Saccharina japonica*, *S. cichorioides*; *Sargassum pallidum*, *S. miyabei*, *Costaria costata*, *Agarum clathratum*). В нижней сублиторали господствуют беспозвоночные бродячие формы и обрастатели [5, 22].

Островная Сахалинская область (БЗ и шельф о. Сахалин, обращенные к Японскому морю). Область подразделяется на 3 района: 2.1. Северный район Западно-Сахалинских гор, 2.2. Перешеек Поясок и 2.3. Южный район Западно-Сахалинских гор.

Основную территорию этой области занимают Западно-Сахалинские горы, которые делятся на 3 района: Северный и Южный, испытывающие активное новейшее поднятие [18], и район замедленных поднятий – Перешеек Поясок. Районы Западно-Сахалинских гор соответствуют одноименному антиклинорию. Берега высокие продольные с преимущественно активным клифом, кроме Южного района, где клиф мертвый, подводно-береговой склон приглубый до 40 м, берег окаймлен поясом скал, шельф узкий (рис. 5 и 6).

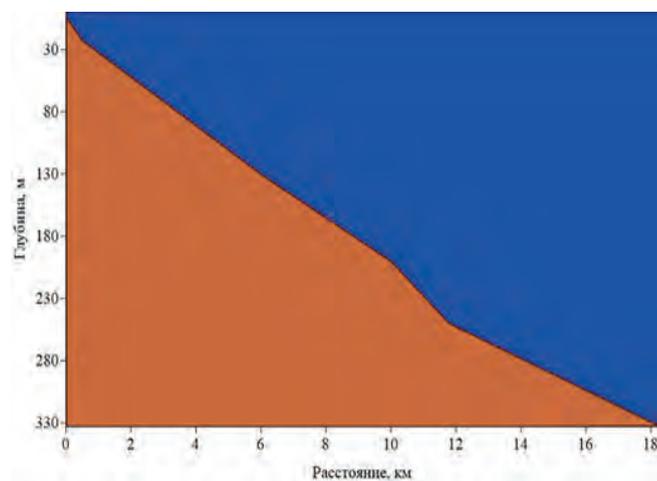


Рис. 5. Батиметрический профиль шельфа в Северном районе Западно-Сахалинских гор (по данным морской навигационной карты)

На литорали присутствуют сообщества фукусовых *Fucus* + бурых *Sargassum miyabei* и красных известковых водорослей [5, 22]. Дно нижнего этажа сублиторали изобилует зообентосом, который аналогичен зооценозу Центрально-приморского района.

Западно-Сахалинские горы в средней части острова прерываются небольшим районом, именуемым Перешеек Поясок. Здесь интенсивность поднятия резко снижается. Берега в основном аккумулятивные [20], благодаря складкам, продолжающимся в море (берег поперечного типа), ширина шельфа увеличивается до 60 км (рис. 7).

В верхней части берегового склона простираются песчаные равнины, населенные многочисленными видами беспозвоночных: морскими ежами и звездами, гребешками – *Pectinidae*, червями-пескожилами (*Arenicola marina*). Глубже на 30–40 м простираются реликтовые поля гальки, занятые биотопом голотурии (*Cucumaria japonica*).

Область северной части Татарского пролива. Татарский пролив имеет воронкообразную форму с узкой стороной, обращенной к проливу Невельского, последний имеет выход в Сахалинский залив Охотского моря. В северной части дно пролива мелководное желобообразное (рис. 8).

Нижнее течение р. Амур занимает широкую аккумулятивную равнину на месте новейшего прогиба. Устье реки заканчивается обширным лиманом, ограниченным пересыпью. Побережье Сахалина, окаймляющее север Татарского пролива, представлено денудационно-аккумулятивной равниной, испыты-

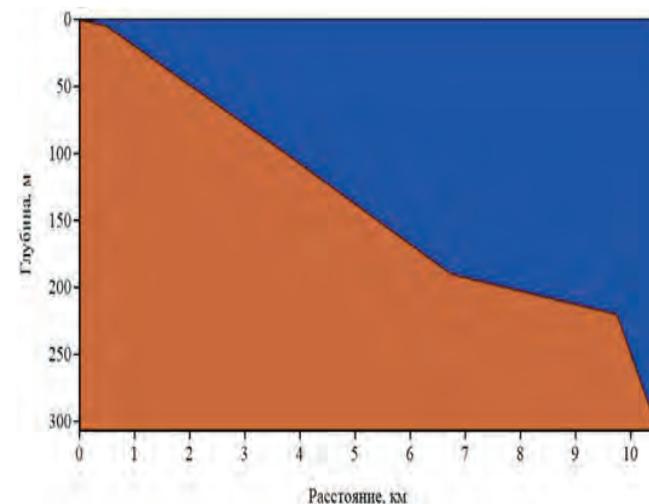


Рис. 6. Батиметрический профиль шельфа в Южном районе Западно-Сахалинских гор (по данным морской навигационной карты)

вающей замедленное поднятие. Вдоль берега располагаются новейшие тектонические прогибы, берега аккумулятивные.

В области преобладает угодье песчано-илистого грунта со свойственным набором биоценозов: в верхней и средней литорали на песчаном грунте произра-

стают заросли морских трав *Zostera asiatica*, в средней и нижней литорали – сообщество *Z. Marina* [9, 10]; с понижением рельефа на песчано-илистом грунте и на валунах обжились приморский морской гребешок (*Mizuhopecten yessoensis*) [8] и корбикула японская (*Corbicula japonica*) [7].

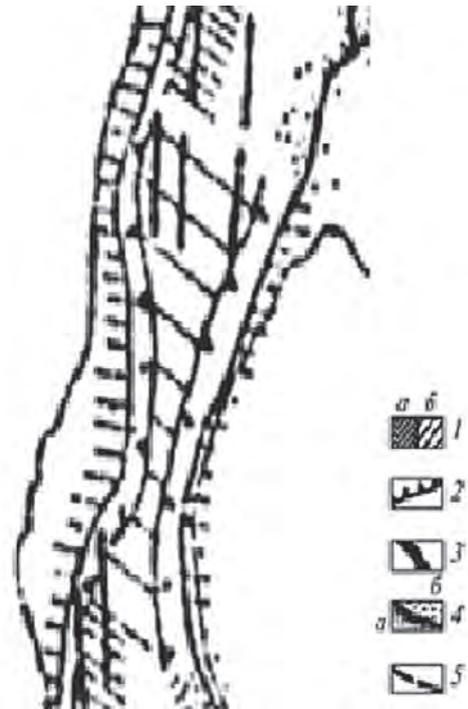


Рис. 7. Район Островной Сахалинской области Перешеек Поясок, его тектоника и геоморфология [22]

Условные обозначения: 1. Участки поднятия земной коры (а – интенсивного, б – замедленного); 2. Абразионные берега; 3. Подводные ландшафты абразионного типа; 4. Участки опускания земной коры (а – аккумулятивные берега с широкими песчаными пляжами, б – подводные ландшафты аккумулятивного типа); 5. Оси тектонических структур, испытывающих поднятие

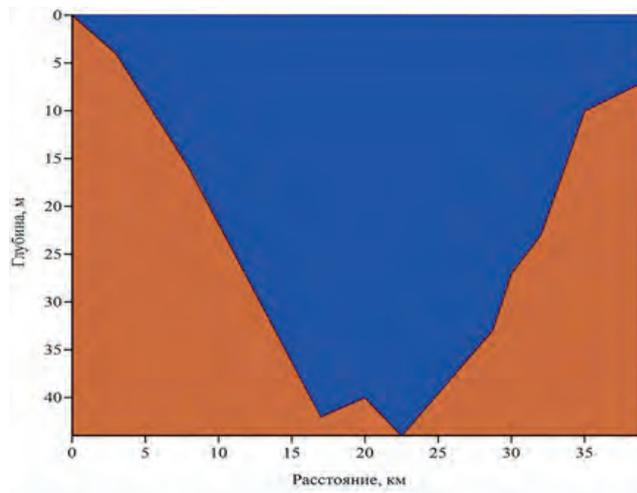


Рис. 8. Батиметрический профиль дна северной части Татарского пролива (по данным морской навигационной карты)

2. Региональные, гидрологические и сезонные условия температуры поверхности воды и концентрации хлорофилла-а фитопланктона в 2003–2022 годах

Пространственно-временная динамика концентрации хлорофилла-а фитопланктона тесно связана с рассмотренными выше региональными особенностями морфоструктурных районов северо-западной части Японского моря. Сезонная изменчивость гидрологических условий по [4, 26].

Сихотэ-Алиньская область находится под воздействием холодного Приморского течения, текущего с севера на юг к южному Приморью и возвращающегося обратно в мелководья Пролива и теплой западной ветки Цусимского течения, направляющегося с Желтого моря. Соленость вод области зимой менее 34,0‰ благодаря горным рекам и глубоководной япономорской водной массе. Весной-летом тепловая конвекция водных масс и тихоокеанские воздушные массы, приносящие обильные осадки, а также усиливающийся сток горных рек Сихотэ-Алиня, снижают соленость вод до 32,5‰ за исключением Южно-приморского района – около 33‰. Осенью происходит увеличение солености вод и ее значения приближаются к зимним.

Островная Сахалинская область и ее северная часть находятся в холоднореальной зоне; омывается она холодным Приморским течением. Южная часть области располагается в неморальной зоне, где особое влияние оказывает теплое Цусимское течение. Центральную часть о. Сахалин пересекает северная граница температур 0–5 °С холоднореальной зоны и южная – 10–15 °С теплореальной. Зимой северные прибрежные воды покрываются припайными и дрейфующими льдами, уносимыми в сторону центральной части моря. В Татарском проливе максимальная ледовитость наступает в феврале. В марте начинается таяние льда в районах, наиболее удаленных от берега. Окончательное очищение моря ото льда наступает в первой половине мая. В области соленость вод зимой составляет 34,0‰ в результате осенне-зимнего перемешивания водных масс. Весной-летом в области соленость вод достигает 32,5–33,5‰ благодаря пресноводным материковым стокам рек. Осенью цикл повторяется.

Область северной части Татарского пролива находится в холоднореальной зоне, характеризующейся низкими температурами и холодным Приморским течением. В суровые зимы Татарский пролив практически полностью покрывается льдом. К середине апреля лед встречается лишь в самых северных участках пролива. Окончательное очищение моря ото льда наступает в первой половине мая. Соленость воды, несмотря на влияние стока р. Амур, зимой высокая – 34‰, чему способствует конвективное пере-

мешивание. Весной и в начале лета при таянии льдов и благодаря увеличению стока р. Амур наблюдаются распреснение до 32,5‰ и обогащение вод биогенными веществами.

Сезонная динамика биогенных веществ (мкг/л) в Сихотэ-Алиньской области представлена в табл. 1.

Табл. 1

Сезонная динамика биогенных веществ в водах Сихотэ-Алиньской области [26]

Сезон	Фосфаты (мкг/л)	Силикаты (мкг/л)	Нитраты (мкг/л)
Зима	20	400	2,0
Весна	25	500	1,5
Лето	10	200	0,5
Осень	15	200	1,5

Максимальная концентрация биогенных веществ достигается в зимне-весенний период, вероятно, благодаря конвекции и поступлению терригенного материала реками, богатыми осадочным материалом. Весной происходит массовое развитие фитопланктона. В результате активного потребления биогенных веществ фитопланктоном их содержание снижается летом. Осенью воды снова минерализируются в ходе осенне-зимней конвекции водных масс.

Многолетний средний сезонный ход ТПВ_{спут} (°С) и концентрации Chl-a_{спут} (мг/м³) в Южно-приморском и Центрально-приморском районах Сихотэ-Алиньской области представлены на рис. 9.

В Южно-приморском районе Сихотэ-Алиньской области с 2003 по 2022 год зимой средние сезонные значения ТПВ_{спут} держатся в диапазоне 0,83–2,17 °С, среднее многолетнее значение сезона – 1,30 ± 0,32 °С. Сниженные температуры обусловлены образованием морского льда на поверхности заливов. Концентрации Chl-a_{спут} сохраняются в промежутке 0,87–11,00 мг/м³ (4,12 ± 3,16 мг/м³) благодаря осенне-зимней конвекции водных масс, поднимающей биогенные соли со дна до верхнего фотического слоя. Весной наблюдаются плавный рост температур вод до 3,00–4,33 °С (3,69 ± 0,36 °С), так же, как и концентрации Chl-a_{спут} до 4,23–7,33 мг/м³ (4,69 ± 1,32 мг/м³). Рост обоих показателей вызван высокой солнечной активностью и зимне-весенней конвекцией глубинных и поверхностных вод. Летом температуры вод достигают 16,50–17,60 °С (6,78 ± 0,30 °С) за счет адвекции водных масс юго-восточной веткой теплого Цусимского течения, но при этом заметно снижаются концентрации Chl-a_{спут} до 0,13–1,13 мг/м³ (0,98 ± 0,45 мг/м³) в результате активного потребления биогенных веществ фитопланктоном весной. Осенние температуры вод снижаются до 12,00–13,00 °С (12,54 ± 0,28 °С), в то время как концентрации Chl-a_{спут} медленно увеличиваются до 1,00–8,33 мг/м³ (5,50 ± 2,25 мг/м³). Южный циклон ох-

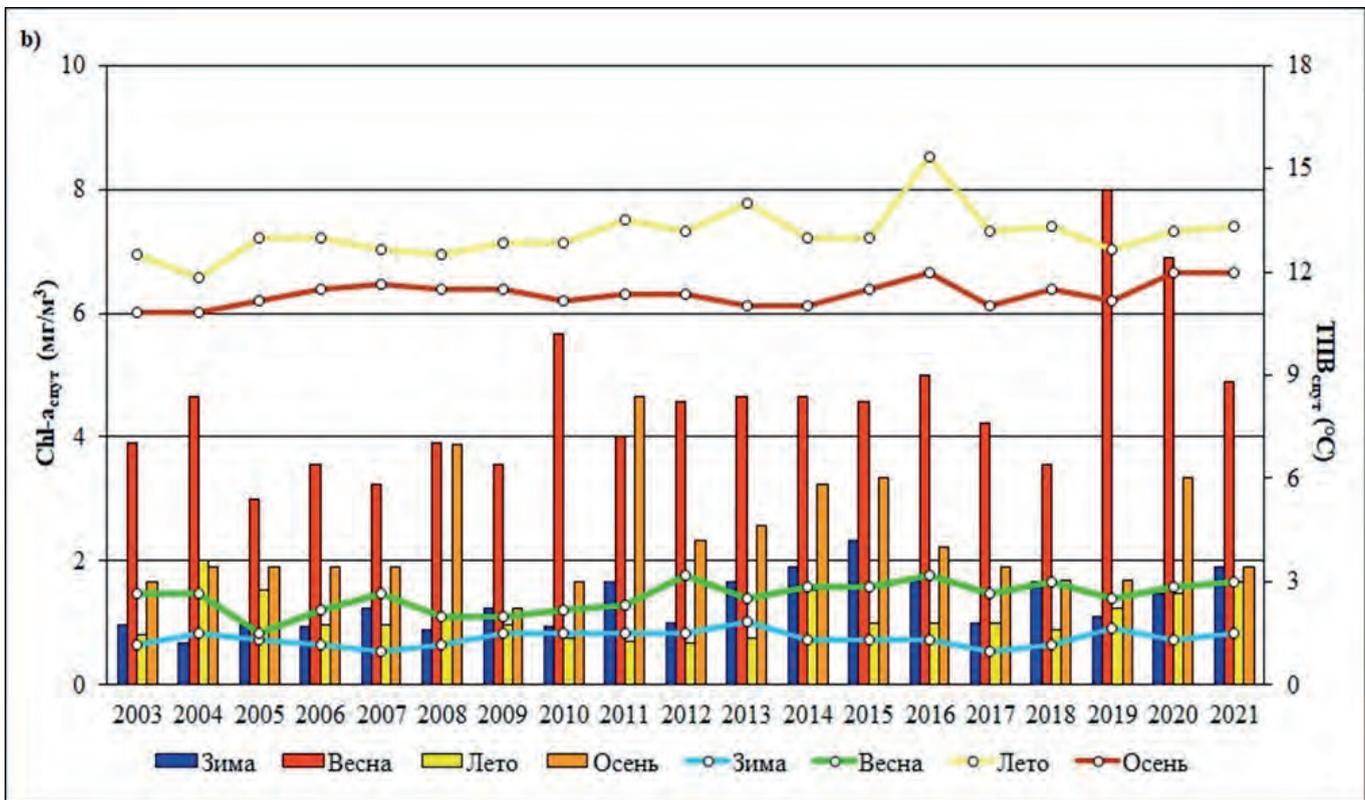
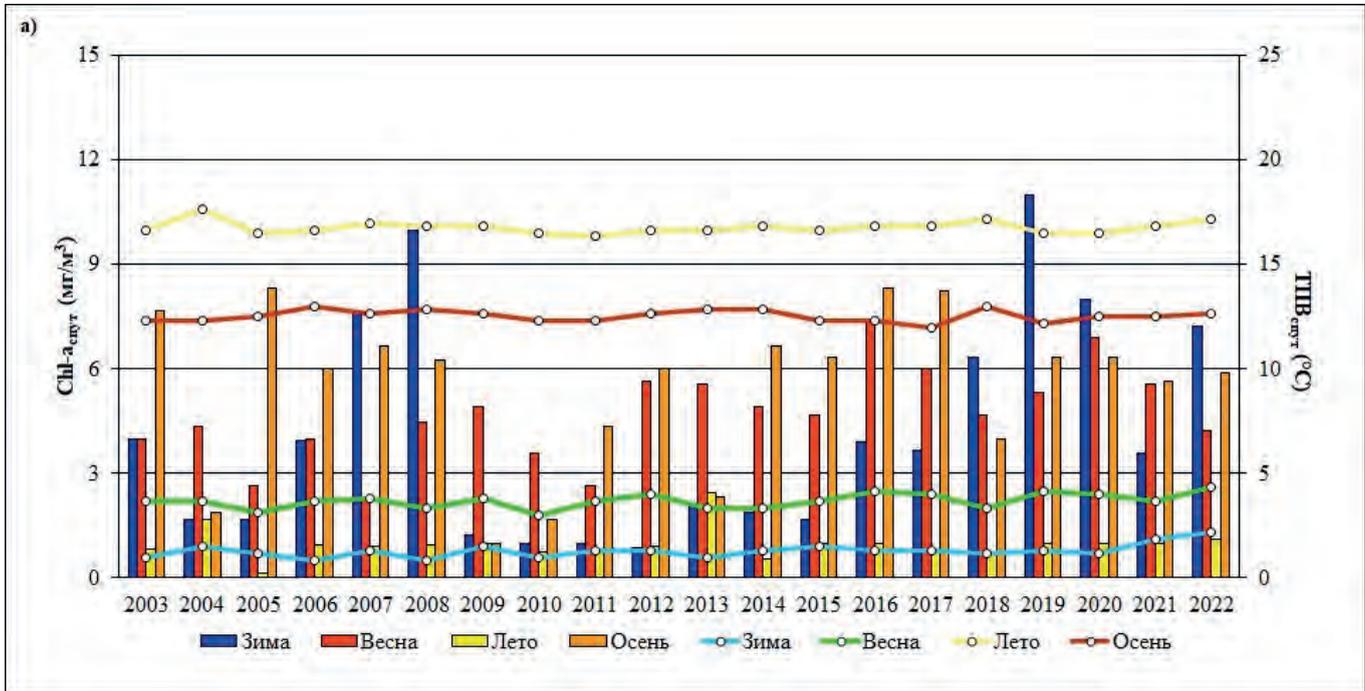


Рис. 9. Сезонный ход ТПВ_{спут} и концентрации Chl-a_{спут} в районах (а – Южно-приморский и б – Центрально-приморский) Сихотэ-Алиньской области. Линиями указаны значения ТПВ_{спут} (°C), столбиками – Chl-a_{спут} (мг/м³) (по данным метеорологического спутника MODIS Aqua, NASA, 2003–2022 годы)

лаждает воды обильными осадками и вызывает осенне-зимнюю конвекцию водных масс, насыщающих поверхностные слои воды биогенными веществами.

В Центрально-приморском районе Сихотэ-Алинской области с 2003 по 2022 год зимой средние сезонные значения $ТПВ_{спут}$ сохраняются в диапазоне 1,00–1,83 °С (среднее многолетнее $1,37 \pm 0,21$ °С) благодаря зимнему морскому льду и холодному Приморскому течению, а концентрации $Chl-a_{спут}$ составляют 0,67–2,33 мг/м³ ($1,35 \pm 0,44$ мг/м³). Весной температуры вод медленно повышаются до 1,50–3,17 °С ($2,58 \pm 0,43$ °С), а концентрации $Chl-a_{спут}$ увеличиваются до 3,00–8,00 мг/м³ ($4,49 \pm 1,24$ мг/м³) по причине слабой зимне-весенней конвекции водных масс, выносящих с глубин богатые минералами воды. Летом температуры вод максимальны – 13,00–14,00 °С ($13,11 \pm 0,69$ °С), причина чего возникает с летним муссоном, освобождающим завихрения с востока Тихого океана, но концентрации $Chl-a_{спут}$ понижаются до 0,67–2,00 мг/м³ ($1,10 \pm 0,36$ мг/м³), причем изменчивость низких показателей связана с активным «цветением» фитопланктона весной. Осенью температуры вод понижаются до 11,83–12,00 °С ($12,00 \pm 0,37$ °С), в то же время концентрации $Chl-a_{спут}$ слабо увеличиваются до 1,23–3,33 мг/м³ ($2,43 \pm 0,92$ мг/м³). Такие показатели обусловлены слабостью осенне-зимней конвекции и узким подводным шельфом, покрытым твердым грунтом.

Таким образом, Южно-приморский район Сихотэ-Алинской области характеризуется высокой концентрацией хлорофилла-а. Поперечный тип берега с обилием аккумулятивного материала на дне мелководных заливов и реки южного Приморья обогащают воды береговой зоны огромным количеством биогенных веществ, что проявляется в ежесезонной высокой активности фитопланктона по сравнению с таковой в Центрально-приморском районе.

Сезонная динамика биогенных веществ (мкг/л) Островной Сахалинской области представлена в табл. 2.

Табл. 2

Сезонная динамика биогенных веществ в водах Островной Сахалинской области [26]

Сезон	Фосфаты (мкг/л)	Силикаты (мкг/л)	Нитраты (мкг/л)
Зима	25	400	1,5
Весна	15	500	1,5
Лето	15	200	0,5
Осень	10	200	1,0

Максимальная концентрация биогенных веществ достигается в зимне-весенний период, за счет поступления биогенных веществ с выносом стока рек на севере моря и предположительно апвеллингами. Весной происходит массовое развитие фитопланктона. В результате активного потребления биогенных веществ

фитопланктоном их содержание снижается летом. Осенью воды снова минерализуются в ходе осенне-зимней конвекции водных масс. Весной происходит массовое развитие фитопланктона. На протяжении лета к осени, в результате активного потребления биогенных веществ фитопланктоном, их содержание снижается к зиме.

Многолетний средних сезонных ход $ТПВ_{спут}$ (°С) и концентрации $Chl-a_{спут}$ (мг/м³) в Северном, Перешейке Поясок и Южном районах Островной Сахалинской области показаны на рис. 10.

В Северном районе Островной Сахалинской области в 2003–2022 годах зимой данные отсутствуют кроме $ТПВ_{спут}$ в декабре (0,75 °С) и концентрации $Chl-a_{спут}$ в феврале (1,19 мг/м³). Весной температуры вод слабо возрастают до 1,00–2,17 °С ($1,28 \pm 0,39$ °С), и вместе с прогревом вод медленно увеличиваются концентрации хлорофилла до 4,00–11,67 мг/м³ ($7,56 \pm 2,35$ мг/м³). Летом в результате активной инсоляции моря и поступления тепла со стоком р. Амур происходит значительное повышение температуры поверхности воды до 14,67–16,17 °С ($15,04 \pm 0,45$ °С). Содержание биогенных веществ резко падает до 0,90–6,00 мг/м³ ($3,45 \pm 1,63$ мг/м³). Осенью в результате начала сезонного выхолаживания вод происходит постепенное снижение температуры до 9,33–10,50 °С ($9,76 \pm 0,39$ °С), а осеннее «цветение» фитопланктона происходит благодаря поступлению биогенных веществ в фотический слой из глубинных вод за счет развивающегося в этот сезон апвеллинга, что вызывает повышение содержания хлорофилла до 3,30–7,67 мг/м³ ($5,20 \pm 1,21$ мг/м³).

В районе Перешеек Поясок Островной Сахалинской области с 2003 по 2022 год зимой средние сезонные значения $ТПВ_{спут}$ минимальные (0,00–1,33 °С) при среднем многолетнем значении 0,88 °С, недостаточность спутниковых данных из-за покрытия акватории льдом не позволяет получить достоверные значения концентрации $Chl-a$. Весной отмечается небольшое повышение температуры вод до 2,33–3,33 °С ($2,67 \pm 0,28$ °С), происходящее благодаря активной инсоляции вод и влиянию теплого Цусимского течения. Концентрации $Chl-a_{спут}$ возрастают до 4,00–11,67 мг/м³ ($7,24 \pm 2,02$ мг/м³), главным образом, в результате сезонных прибрежных апвеллингов. Летом происходит максимальный прогрев вод до 13,17–14,50 °С ($13,79 \pm 0,46$ °С) вследствие мощной инсоляции вод и тепловодного потока Цусимского течения. При этом концентрация хлорофилла-а вод на минимуме 0,90–3,13 мг/м³ ($1,98 \pm 1,63$ мг/м³), что вызвано нехваткой биогенных веществ для фитопланктона. Осенью температуры понижаются до 8,69–9,17 °С ($8,32 \pm 0,31$ °С), а концентрации $Chl-a_{спут}$ увеличиваются до 2,90–9,00 мг/м³ ($5,65 \pm 1,35$ мг/м³) в результате ежесезонного перемешивания водных масс.

В Южном районе Островной Сахалинской области с 2003 по 2022 год зимой средние сезонные значения

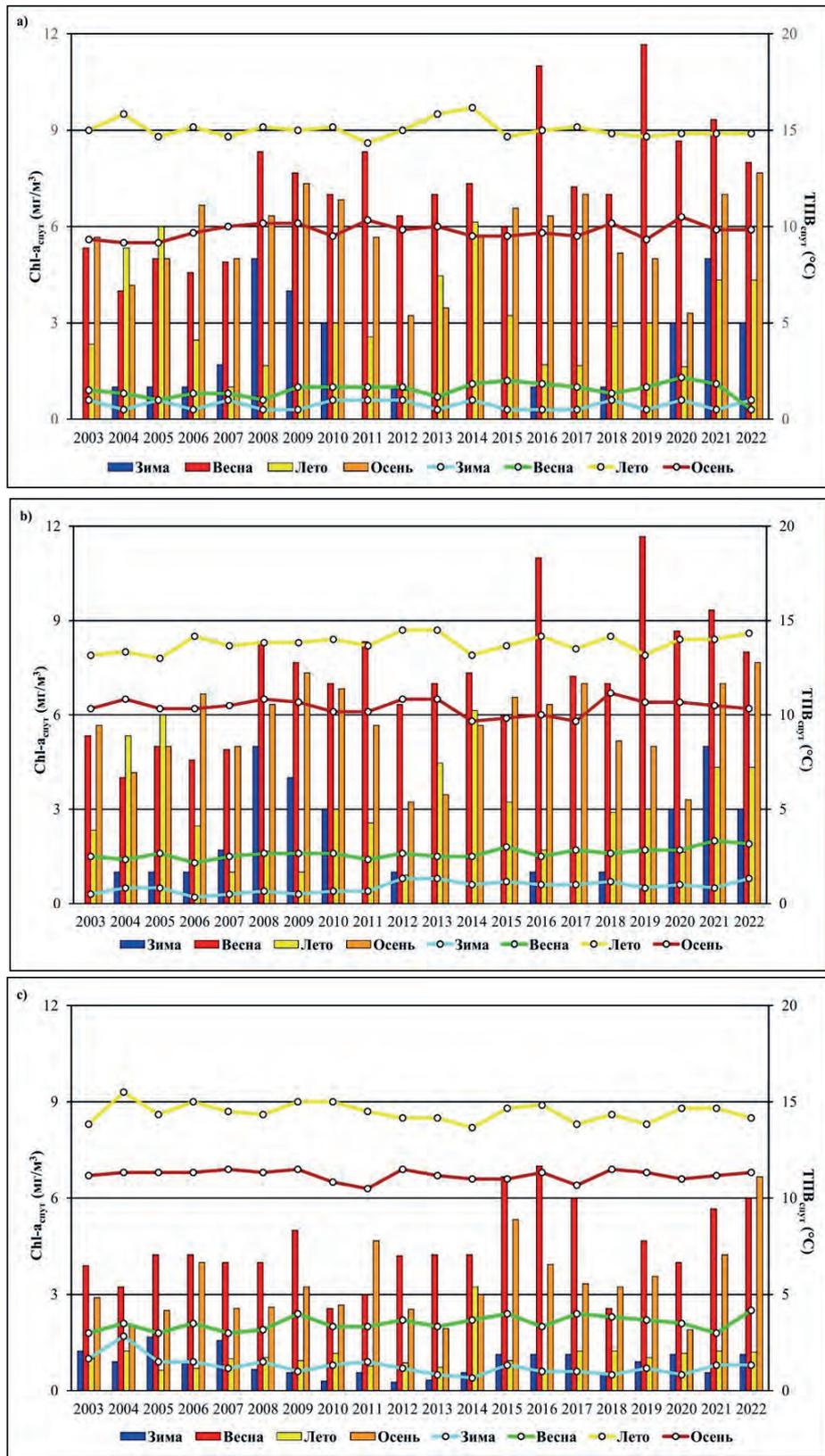


Рис. 10. Многолетний ход TПВ_{сут} и концентрации Chl-a_{сут} в районах (а – Северный, б – Перешеек Поясок, с – Южный) Островной Сахалинской области. Линиями указаны значения TПВ_{сут} (°C), столбиками – Chl-a_{сут} (мг/м³) (по данным метеорологического спутника MODIS Aqua, NASA, 2003–2022 годы)

ТПВ_{спут} низкие (1,00–2,83 °С) при среднем многолетнем значении $1,28 \pm 0,46$ °С, что обусловлено зимними температурами покрытием участка акватории льдом. Концентрации Chl-a_{спут} составляют 0,57–1,57 мг/м³ ($0,86 \pm 0,46$ мг/м³), но, как и в Северном районе, отсутствуют данные за январь–февраль. Весной происходит небольшой рост температуры вод до 3,00–4,17 °С ($3,50 \pm 0,37$ °С), а концентрации Chl-a_{спут} возрастают до 2,57–7,00 мг/м³ ($4,47 \pm 1,25$ мг/м³), поскольку воды нагреваются и Цусимское течение переносит тихоокеанскую минерализованную водную массу. Летом наступает максимальный прогрев вод до 13,83–15,00 °С ($14,45 \pm 0,48$ °С), а концентрации Chl-a_{спут} минимальны (0,63–3,23 мг/м³), а в среднем $1,10 \pm 0,54$ мг/м³. Летом воды вбирают максимум тепла от солнечной радиации от приходящих вод теплого Цусимского течения, в то время как продуктивность фитопланктона угасает. Осенью температуры снижаются до 10,50–11,50 °С ($11,19 \pm 0,28$ °С), а концентрации Chl-a_{спут} повышаются до 1,90–6,67 мг/м³ ($3,34 \pm 1,20$ мг/м³). Численность фитопланктона возрастает благодаря теплолюбивым динофитовым водорослям. С лета по осень популяции микроводорослей поддерживаются за счет изменчивости температурного режима вод.

Таким образом, район Перешеек Поясок обладает повышенной продуктивностью благодаря насыщению биогенными веществами, поступающими с широкого аккумулятивного шельфа во время сезонного расхождения водных масс, и движению дрейфующих льдов с севера Татарского пролива в южную сторону к заливу Лаперуза с апреля по начало мая.

Сезонная динамика биогенных веществ (мкг/л) в области северной части Татарского пролива представлена в табл. 3.

Табл. 3

Сезонная динамика биогенных веществ в области северной части Татарского пролива [26]

Сезон	Фосфаты (мкг/л)	Силикаты (мкг/л)	Нитраты (мкг/л)
Зима	25	400	2,0
Весна	15	500	1,5
Лето	15	200	0,5
Осень	10	200	1,5

Максимальная концентрация биогенных веществ наблюдается весной. Летом содержание биогенных веществ уменьшается и осенью понижается до минимума. В зимнее время количество биогенных солей снова возвращается к первоначальному значению.

Многолетний средний сезонный ход ТПВ_{спут} (°С) и концентрации Chl-a_{спут} (мг/м³) в области северной части Татарского пролива показаны на рис. 11.

В северной части Татарского пролива с 2003 по 2022 год за зиму данные ТПВ_{спут} и концентрации Chl-a_{спут} отсутствуют, потому что сканер спутника не фиксирует ландшафт, включая поверхность льда. Весной воды постепенногреваются до 1,00–3,25 °С ($2,58 \pm 0,66$ °С) и концентрации Chl-a_{спут} возрастают до 10,00–30,00 мг/м³ ($16,00 \pm 6,41$ мг/м³). Сезонный рост этих показателей объясняется внушительным количеством терригенного материала, выносимого полноводной рекой Амур.

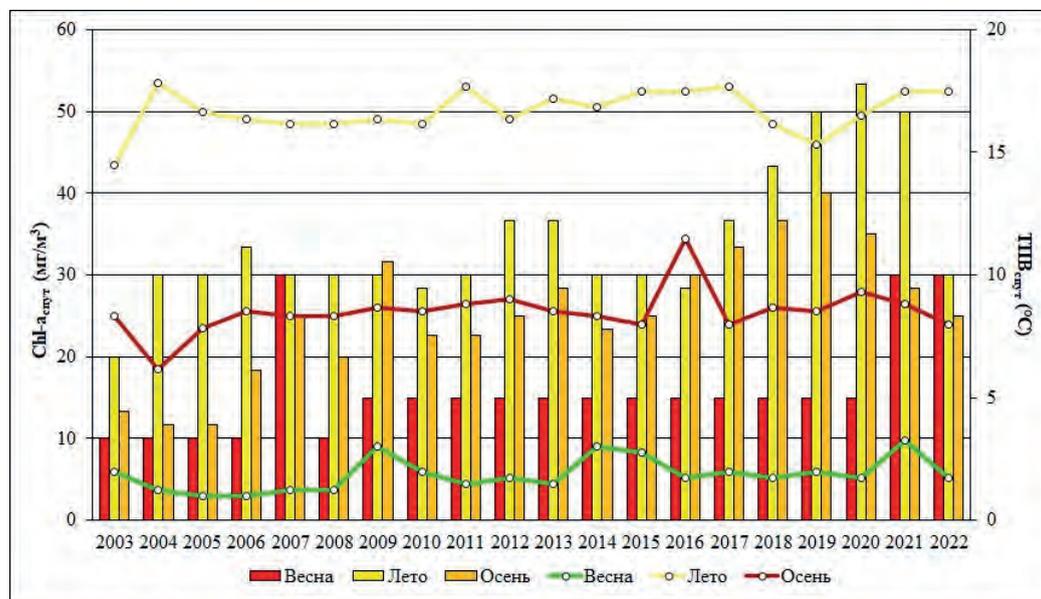


Рис. 11. Сезонный ход ТПВ_{спут} и концентрации Chl-a_{спут} в области северной части Татарского пролива. Линиями указаны значения ТПВ_{спут} (°С), столбиками – Chl-a_{спут} (мг/м³) (по данным метеорологического спутника MODIS Aqua, NASA, 2003–2022 годы)

Летом температуры вод растут до 14,50–17,50 °C (16,69 ± 0,87 °C), поскольку мелководья вбирают максимум тепла от тепловодной р. Амур и солнечной радиации, также и концентрации Chl-a_{спут} увеличиваются на порядок до 20,00–50,00 мг/м³ (34,33 ± 8,57 мг/м³) благодаря мощному поступлению биогенных веществ с паводком и половодьем. Осенью температура снижается до 6,17–11,50 °C (8,51 ± 0,95 °C), но концентрации Chl-a_{спут} сохраняются на уровне 11,67–40,00 мг/м³ (25,35 ± 7,93 мг/м³). С весны по осень спутниковые данные для обоих показателей могут быть неточными в связи с обилием минеральной взвеси, которая может искажать конечные численные значения.

Таким образом, сезонная изменчивость ТПВ_{спут} (°C) и концентрации Chl-a_{спут} (мг/м³) с 2003 по 2022 год находятся во взаимосвязи, но в разные сезоны и в районах северо-западной части Японского моря зависят от «скрытой» многофакторности. Сезонные изменения в количестве поступающей солнечной радиации оказывают влияние на жизнедеятельность водорослей в береговой зоне. Южно-приморский район Сихотэ-Алинской области, где берег в основном аккумулятивно-денудационно-абразионный поперечного типа, характеризуется повышенным содержанием хлорофилла-а на протяжении зимнего, весеннего и осеннего сезонов; в Центрально-приморском районе этой же области, где берега абразионные с активным клифом, продольного типа, концентрация хлорофилла-а не высока, кроме весенней и осенней вспышек «цветения» фитопланктона. В выделах Островной Сахалинской области с продольным типом берега в Северном и Южном районах происходит активное развитие фитопланктона, но не в зимнем и летнем сезонах; в районе Перешеек Поясок с аккумулятивным берегом поперечного типа продуктивность микроводорослей с весны по осень больше, чем в остальных районах. Аккумулятивные опускающиеся берега с мелководным проливом в области северной части Татарского пролива, полноводный сток р. Амур и осолонение вод в процессе ледообразования повышают продукцию микроводорослей весной, летом и осенью, но зимой весь пролив покрыт сплошным льдом.

Заключение

Методы ландшафтно-биономическое районирование и космический мониторинг повышают надежность исследований динамики продуктивности фитопланктона и морских экосистем в северо-западной части Японского моря. Первый метод описывает биономические условия биоценозов на каркасе знаний о тектогенно-морфоструктурном районировании БЗ, второй метод показывает на космических снимках взаимосвязь между ходом температуры поверхности воды и концентрации хлорофилла-а фитопланктона в заданных периодах (годах, сезонах, месяцах).

В северо-западной части Японского моря выделяются 3 области и 6 районов.

Сихотэ-Алинская область принадлежит к холоднореальной зоне, биоиндикаторами которой являются диатомовые (*Bacillariophyta*) и литоральные фукусовые (*Fucus evanescens*, *Pelvetia wrightii*) водоросли. В Южно-приморском районе берега поперечного типа характеризуются сложной ландшафтной структурой, представленной мелководными заливами, разделенными мысами и островами, шельф широкий около 100 км. В Центрально-приморском районе берега продольные высокие с активным клифом, подводный склон приглубый (биотоп каменистых грунтов), шельф узкий до 27 км, фитопланктон представлен холоднолюбивыми видами диатомовых водорослей (*Skeletonema costatum*, *Thalassiosira nordenskioeldii*, *Cylindrotheca closterium* и др.), грунты заняты сообществами бурых и красных водорослей, группировками беспозвоночных бродячих форм и обростателями.

Островная Сахалинская область находится под влиянием двух географических зон: холоднореальной и теплобореальной (неморальной). В Северном районе берег продольного типа, высокий с активным клифом, приглубый, шельф узкий до 18 км, район принадлежит холоднореальной зоне, биоиндикаторами служат холоднолюбивые диатомовые и господствующие в литорали фукусовые (*Fucus evanescens*, *Pelvetia wrightii*) водоросли, пелагиаль населена в основном диатомовыми водорослями и другими отделами фитопланктона, в литорали господствующее положение занимают сообщества фукусовых *Fucus* + бурых *Sargassum miyabei*, в средней и нижней сублиторали обитают различные беспозвоночные животные, зооценоз которых аналогичен Центрально-приморскому району. В районе Перешеек Поясок морфоструктура замедленных поднятий, складки поперечного типа, не выраженные в рельефе, но определяющие расширение шельфа до 60 км, акватория расположена на стыке двух зон: холоднореальной на юге и теплобореальной на севере, в которых присутствуют многообразные виды фитопланктона, среди которых есть биоиндикаторы, тем временем грунты в литорали занимают сообщества макробентоса *Corallina pilulifera*, именуемые «кораллиновые тротуары», зообентос представлен: морскими ежами и звездами, голотурцией, гребешками-фильтраторами (пектинидами) и червями-пескожилами. В Южном районе: берег продольного типа, берега высокие с отмершим клифом, подводно-береговой склон приглубый оmyвается теплым Цусимским течением, обозначающим вхождение района в теплобореальную зону, индикаторами которой являются теплолюбивые динофлагелляты, сообщество *Sargassum miyabei* и «кораллиновые тротуары», в литорали, а также в верхней и средней сублиторали произрастают крас-

ные водоросли, в нижней сублиторали обитают многие формы беспозвоночных животных: морские ежи, голотурии, прячущиеся креветки, балянусы, актинии, асцидии, губки и др.

В области северной части Татарского пролива берега усеяны наносами и аккумулятивными террасами на дне р. Амур и амурского лимана, песчано-илистая равнина на месте новейшего четвертичного прогиба, испытывающего опускание, зимой море замерзает, область относится к холоднореальной зоне, где биоиндикаторы представлены фукусовыми водорослями, а биоценоз в основном состоит из морских трав и двустворчатых моллюсков.

В 2003–2022 годах сезонная динамика концентрации $Chl-a_{спут}$ фитопланктона проявляет такие закономерности: спутниковые данные указывают на активное «цветение» фитопланктона в крайних районах БЗ; в пределах абразионно-аккумулятивных берегов с продольным или поперечным типом строения меняется содержание хлорофилла-а.

Зимой максимальная ТПВ_{спут} наблюдается в Центрально-приморском районе Сихотэ-Алинской области (1,37 °С), а минимальная в районе Перешеек Поясок Островной Сахалинской области (0,88 °С); весной наибольшая температура отмечается в Центрально-приморском районе Сихотэ-Алинской области (3,69 °С), а наименьшая в Северном районе Островной Сахалинской области (1,28 °С); летом наиболее прогрет Южно-приморский район Сихотэ-Алинской области (16,78 °С) и менее всего Центрально-приморский район той же области (13,11 °С); осенью максимальная температура (12,54 °С) наблюдается в Центрально-приморском районе Сихотэ-Алинской области, а минимальная

в области северной части Татарского пролива (8,51 °С).

Зимой максимальная концентрация $Chl-a_{спут}$ отмечается в Южно-приморском районе Сихотэ-Алинской области (4,15 мг/м³), а минимальная – в Южном районе Островной Сахалинской области (0,86 мг/м³); весной наибольшая концентрация хлорофилла-а наблюдается в области северной части Татарского пролива (16,00 мг/м³), а наименьшая – в Южном районе Островной Сахалинской области (4,47 мг/м³); летом высокая концентрация хлорофилла-а – в области северной части Татарского пролива (34,33 мг/м³), но низкая – в Южно-приморском районе Островной Сахалинской области (0,98 мг/м³); осенью наибольшим образом концентрируется хлорофилл-а в области северной части Татарского пролива (25,35 мг/м³), но меньше всего – в Центрально-приморском районе Сихотэ-Алинской области (2,43 мг/м³).

Морской фитопланктон может рассматриваться как сезонный биоиндикатор, который реагирует на изменения природно-климатических условий морской среды Японского моря. Микроводоросли в большинстве реагируют на такие изменения условий в морской среде: интенсивность солнечной радиации, образование и таяние льда, океанологические факторы (ветровой апвеллинг, сезонное вертикальное перемешивание водных масс, адвекция тепла течениями) и стихийные опасные явления (тайфуны, паводки).

Благодарности: автор признателен доктору географических наук почетному профессору кафедры биогеографии и охраны природы Института наук о Земле СПбГУ К.М. Петрову, который оказал неоценимую поддержку в написании этой статьи.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Арзамасцев ИС, Преображенский БВ. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. М.: Наука; 1990.
2. Баклагин ВН, Новикова ЮС. Динамика концентрации хлорофилла-а в поверхностных водах Онежского озера по спутниковым наблюдениям за 1998–2022 гг. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023;20(6):289-302. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-6-289-302.
3. Богоров ВГ. Планктон Мирового океана. М.: Наука; 1974.
4. Васильева АС, Терзиева ФС, Косарева АН. Японское море: гидрометеорологические условия. В кн.: Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 8. СПб.: Гидрометеоздат; 2003.
5. Гурулева ОН, Аминина НМ. Исследование содержания фукоидана в бурых водорослях Дальневосточного региона. Владивосток: Известия ТИНРО; 2013;172:265-73.
6. Дулепова ЕП, Волков АФ, Чучукало ВИ, Надточий ВА, Иванов ОА, Мерзляков АЮ. Современный статус биоты дальневосточных морей. Известия ТИНРО; 2004;137:16-28.
7. Дуленина ПА. Промысловые двустворчатые моллюски прибрежных акваторий Хабаровского края. Изучение зообентоса шельфа. Автореферат дисс. канд. биол. наук; 2004.
8. Дуленина АП, Колпаков НВ. Состав и распределение макроэпибентоса в прибрежной зоне северо-западной части татарского пролива. Биологические ресурсы. Известия ТИНРО. 2019;199:3-18. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-199-3-18.

9. Дуленин АА. Оптимальные условия выделения доминантов подводной растительности на примере северо-западной части Татарского пролива. Известия ТИНРО. 2020;200(3):767-88. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-767-788.
10. Дуленина ПА, Дуленин АА. Динамика ресурсов приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1856) северо-западной части Татарского пролива с начала его промысла по настоящее время. Известия ТИНРО. 2021;201(3):533-46. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-533-546.
11. Звалинский ВИ, Лобанова ПВ, Тищенко ПЯ, Лобанов ВБ. Оценка первичной продукции северо-западной части Японского моря на основе судовых и спутниковых наблюдений. Океанология. 2019;59(1):45-55. DOI: 10.31857/S0030-157459145-55.
12. Звалинский ВИ, Лобанова ПВ, Тищенко ПЯ, Лобанов ВБ, Маховиков АД. Оценки первичной продукции в северной части Японского моря в различные сезоны по судовым и спутниковым данным. Океанология. 2022;62(5):726-42. DOI: 10.31857/S0030157422050215.
13. Зенкевич ЛА. Биология морей СССР. М.: АН СССР; 1962.
14. Кемкин ИА. Аккреционная тектоника – новое направление регионально-геологических исследований переходной зоны континент-океан (на примере Сихотэ-Алиня). Вестник ДВО РАН. 2010;(6):80-6.
15. Коновалова ГВ, Орлова ТЮ, Паутова ЛА. Атлас фитопланктона Японского моря. Владивосток: АН СССР ДВО РАН; 1989.
16. Лобанова ПВ, Звалинский ВИ, Тищенко ПЯ. Первичная продукция фитопланктона и концентрация хлорофилла-а в западной части Японского моря по спутниковым и натурным данным. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017;14(2):135-47. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-2-135-147.
17. Мануйлов ВА. Подводные ландшафты залива Петра Великого. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та; 1990.
18. Медведев ВС. Берега Японского моря. М.: АН СССР; 1961.
19. Медведев ВС. Исследования по динамике и морфологии берегов залива Петра Великого в Японском море. М.: АН СССР; 1961.
20. Медведев ВС. Некоторые черты строения и динамики западного побережья острова Сахалина. М.: АН СССР; 1961.
21. Петров КМ, Поздеев ВБ. Подводные ландшафты и фитобентос у берегов Южного Сахалина. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та; 1992.
22. Петров КМ. Принципы биономического районирования БЗ и шельфа Мирового океана. Океанология. 2020;60(3):381-92. DOI: 10.31857/S0030157420030089.
23. Ракидин ТД. Ландшафтно-биономическое районирование и космический мониторинг сезонной и многолетней динамики Chl-a фитопланктона северо-западной части Японского моря. В кн.: Сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование – MARESE-DU-2023». Тверь: ПолиПРЕСС; 2024. С. 334-42.
24. Станичная РР, Станичный СВ, Арашкевич ЕГ. Регионально адаптированный алгоритм восстановления концентрации хлорофилла для Черного моря, анализ причин отличия спутниковых и контактных данных. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020;17(4):29-37. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-29-37.
25. Суегин ВС, Суслин В, Королева СН, Кучерявый АА. Оценка изменчивости оптических свойств воды в Черном море летом 1998 года по данным спутникового прибора SeaWiFS. Морской гидрофизический журнал. 2002;6:44-54.
26. Терзиева ФС, Тищенко ПЯ. Японское море: гидрохимические условия и океанографические основы формирования биологической продуктивности. В кн.: Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 8. СПб.: Гидрометеиздат; 2004.
27. Штрайхерт СП, Захарков ТН, Гордейчук ЮВ, Шамбарова ЕА. Концентрация хлорофилла-а и биооптические характеристики в заливе Петра Великого (Японское море) во время зимне-весеннего цветения фитопланктона. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014;11(1):148-62.

Общий список литературы/References

1. Arzamastsev IS, Preobrazhensky BV. Atlas Podvodnykh Landshafrov Yaponskogo Moria. [Atlas of Underwater Landscapes of the Sea of Japan]. Moscow: Nauka; 1990. (In Russ.)
2. Baklagin VN, Novikova YS. [Dynamics of chlorophyll a concentration in surface waters of Lake Onega according to satellite observations in 1998–2022]. Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemki iz Kosmosa. [Current Problems of Remote Sensing of the Earth from the Space]. 2023. 20(6):289-302. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-6-289-302. (In Russ.)

3. Bogorov VG. Plankton Mirovogo Okeana. [World Ocean Plankton]. Moscow: Nauka; 1974. (In Russ.)
4. Vasilyeva AS, Terzieva FS, Kosareva AN. [The Sea of Japan: hydrometeorology regimes]. In: Gydrometeorologiya i Gydrokhimiya Morey Tom 8. [Hydro-meteorology and Sea-Chemistry. Vol. 8]. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat; 2003. (In Russ.)
5. Guruleva ON, Aminina NM. [Study of fucoidan content in brown algae of the Far Eastern region]. Izvestiya TINRO. 2013;172:265-73. (In Russ.)
6. Dulepova EP, Volkov AF, Chuchukalo VI, Nadtochiy VA, Ivanov OA, Merzlyakov AY. [Current status of the Far East seas biota]. Izvestiya TINRO. 2004;137:16-28. (In Russ.)
7. Dulenina PA. [Commercial Bivalves of Coastal Waters of Khabarovsk Region. Study of Shelf Zoobenthos]. Candidate Sci. Theses; 2004. (In Russ.)
8. Dulenina AP, Kolpakov NV. [Composition and spreading of macrobenthos in the coastal zone of the northwest of Tartar Strait. Biological resources]. Izvestiya TINRO; 2019;199:3-18. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-199-3-18. (In Russ.)
9. Dulenin AA. [Optimal conditions for distinguishing the dominant species of underwater vegetation in the northwest of Tartar Strait]. Izvestiya TINRO. 2020;200(3):767-88. DOI: 0.26428/1606-9919-2020-200-767-788. (In Russ.)
10. Dulenina PA, Dulenin AA. [Changes in the resources of the seaside scallop *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1856) of the northwest of Tatar Strait from the onset of trapping thereof up to the present time]. Vladivostok: Izvestiya TINRO; 2021;201(3):533-46. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-533-546. (In Russ.)
11. Zvalinskiy VI, Lobanova PV, Tischenko PJ, Lobanov VB. [Assessment of the primary productivity of the northern part of Sea of Japan based on ship and satellite data]. Okeanologiya, 2019;59(1):45-55. DOI: 10.31857/S0030-157459145-55. (In Russ.)
12. Zvalinskiy VI, Lobanova PV, Tischenko PJ, Lobanov VB. [Assessment of the primary productivity of the northern part of Sea of Japan in different seasons based on ship and satellite data]. Okeanologiya. 2022. 59(1):45-55. DOI: 10.31857/S0030157422050215. (In Russ.)
13. Zenkevich LA. Biologiya Morey SSSR [Biology USSR Seas]. Moscow: AN SSSR; 1962. (In Russ.)
14. Kemkin IA. [Accretion tectonics – a new trend of regional geological studies of the transitional continent-ocean zone as exemplified with Sikhote Alin]. Vestnik DVO RAN. 2010;(6):80-6. (In Russ.)
15. Konovalova GV, Orlova TY, Pautova LA. Atlas Fitolanktona Yaponskogo Moria. [Atlas of Phytoplankton of the Sea of Japan]. Vladivostok: AN SSSR DVO RAN; 1989. (In Russ.)
16. Lobanova PV, Zvalinskiy VI, Tischenko PJ. [Assessment of the primary phytoplankton production and chlorophyll-a concentration using satellite and empirical data in western part of Sea of Japan]. In: Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. [Current Problems of Remote Sensing the Earth from the Space]. 2017;14(2):135-47. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-2-135-147. (In Russ.)
17. Manuylov VA. Podvodnye Landshafty Zaliva Petra Velikogo. [The Undersea Landscapes of Peter the Great Gulf]. Vladivostok: Izdatelstvo Dalnovostochnogo Universiteta; 1990. (In Russ.)
18. Medvedev VS. Berega Yaponskogo Moria. [The Shores of the Sea of Japan]. Moscow: AN SSSR; 1961. (In Russ.)
19. Medvedev VS. Issledovaniya po Dinamike i Morfologii Beregov Zaliva Petra Velikogo v Yaponskom More. [Studies on the Dynamics and Morphology of the Shores of Peter the Great Bay in the Sea of Japan]. Moscow: AN SSSR; 1961. (In Russ.)
20. Medvedev VS. Nekotorye Cherty Stroyeniya i Dinamiki Zapadnogo Poberezhya Ostrova Sakhakin. [Features of the Structure and Dynamics of the Western Coast of Sakhalin Island]. Moscow: AN SSSR; 1961. (In Russ.)
21. Petrov KM and Pozdeyev VB. Podvodnye Landshafty i Fitobentos u Beregov Yuzhnogo Sakhalina. [The Undersea Landscapes and Phytobentos at the Sea Shores of South Sakhalin]. Vladivostok: Izdatelstvo Daknevostochnogo Universiteta; 1992. (In Russ.)
22. Petrov KM. [The principles of the bionomic zoning of the coastal zone and shelf of the World Ocean]. Okeanografiya. 2020;60(3):381-92. DOI: 10.31857/S0030157420030089. (In Russ.)
23. Rakitin TD. [Landscape-bionomic zoning and space monitoring of the seasonal and multiyear pattern of Chl-a phytoplankton of the northwest of the Sea of Japan]. In: Sborhik Tezisev Dokladov Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii “Morskiye Issledovaniya I Obrazovaniye. [Theses of the International scientific and Practical Conference “Marine Research and Education – MARESEDU-2023”]. Tver: PolyPRESS; 2024. P. 334-42. (In Russ.)
24. Stanichnaya RR, Stanichniy SV, Arashkevich EG. [Regionally adjusted algorithm for restoration of chlorophyll-a concentration in the Black Sea: reasons for differences between data obtained from ships and satellites]. Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. [Current Problems of Remote Sensing of the Earth from the Space]. 2020;17(4):29-37. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-29-37. (In Russ.)
25. Suetin VS, Suslin VV, Koroleva SN, Kucheriaviy AA. [Assessment of variability of optical parameters

- of water in Black Sea in summer 1998 according to satellite SeaWiFS data]. *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal* 2002;6:44-54. (In Russ.)
26. Terziyeva FS, Tischenko PY. [Sea of Japan: hydrochemical conditions of oceanographic foundations of the development of its biological productivity]. In: *Gidrometeorologiya i Gidtokhimiya Morey. Tom 8. Saint Petersburg: Gigrometeoizdatt; 2004. (In Russ.)*
 27. Streichert EA, Zakharkov SP, Gordeichuk TN, Shambarova YV. Chlorophyll-a concentration and bio-optical characteristics in Peter the Great Bay (Sea of Japan) during winter-spring phytoplankton blooms. *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth.* 2014;11(1):148-62. (In Russ.)
 28. Antoine D, Bentamy A, Bentamy H et al. Use of satellite observations for operational oceanography: recent achievements and future prospects. *J Operat Oceanography.* 2015;8(1):12-27. DOI: 10.1080/1755876X.2015.1022050.
 29. Behrenfeld MJ, Westberry TK, Boss ES et al. Satellite-detected fluorescence reveals global physiology of ocean phytoplankton. *Biogeosciences.* 2009;6: 779-94.
 30. Petrov KM. Detailed zoning of the coastal and shelf areas of marine coregions: a case study of the Black Sea. *SCIREA Jf Environ.* 2022;6(3):20-33. DOI: 10.54647/environmental61295.
 31. Saúl A-B, José EV-H. Seasonal and spatial characterization of the gulf of california phytoplankton photosynthetic parameters. *Siencias Marinas.* 1999;25(4):445-67. DOI: 10.7773/cm.v25i4.732.
 32. Spalding MD, Allen G, Fox H, Davidson NC. Marine ecoregions of the World: a bioregionalization of coast and shelf areas. *J. BioSci.* 2007;57(2):573-83.
 33. Tebatso MM, Sandy JT, Marie ES, Bettina M, Deon CL, Rolf K. Remote sensing of phytoplankton community composition in the northern Benguela upwelling system. *Front Marine Sci.* 2023;(10):23. DOI:10.3389/fmars.2023.1118226.
 34. Victor K. Remote sensing techniques for studying coastal ecosystems: An overview. *J Coastal Res.* 2011;27(1):2-17. DOI: 10.2307/25790484.

