

УДК 556: 57.045

Влияние тайфуна Майсак на экологическую ситуацию в материковых прибрежьях Дальневосточного морского заповедника в сентябре 2020 г. (Приморский край, Россия)

А. Ю. Лазарюк^{1,4*}, А. В. Радовец^{2,4}, Н. К. Христофорова^{2,3}

¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация, 690041*

²*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация, 690091*

³*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация, 690041*

⁴*Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация, 690041*

*E-mail: lazaryuk@poi.dvo.ru

Аннотация. В период 5–6 сентября 2020 г. проведено экологическое обследование прибрежных акваторий восточного участка Дальневосточного морского заповедника (бухты Средняя, Нерпичья, Астафьева и Спасения) после прохождения над югом Приморья тайфуна Майсак 3–4 сентября 2020 г. Рассмотрено воздействие потоков взвешенных веществ со строящейся дороги через национальный парк «Земля Леопарда» на прибрежные морские экосистемы заповедника. Показано отсутствие заметного влияния этих потоков на прозрачность воды, её солёность, содержание растворённого кислорода, концентрацию хлорофилла-А и сообщества планктонных организмов в обследованных бухтах. Флуктуации качественного и количественного состава зоопланктона находились в пределах нормы для данного района. Выявлено появление облака мутности с пониженным содержанием кислорода за пределами створов бухт на глубинах более 15–20 м. Его образование обусловлено, по-видимому, интенсификацией гидродинамических процессов под воздействием тайфуна Майсак.

Ключевые слова: Японское море, залив Петра Великого, морской биосферный заповедник, тайфун Майсак, гидрологический режим, STD-данные, облако мутности, зоопланктон.

Environmental impact of Typhoon Maysak on the mainland coast of the Far Eastern Marine Biosphere Reserve in September 2020 (Primorsky Krai, Russia)

A. Yu. Lazaryuk^{1,4*}, A. V. Radovets^{2,4}, N. K. Khristoforova^{2,3}

¹*Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation, 690041*

²*Far Eastern Federal University, Vladivostok, 690091, Russian Federation*

³*Pacific Geographical Institute Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041, Russian Federation*

⁴*A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041, Russian Federation*

*E-mail: lazaryuk@poi.dvo.ru

Abstract. An environmental survey of the coastal zone was carried out in the eastern section of the Far Eastern Marine Biosphere Reserve on September 5–6 2020, immediately after Typhoon Maysak passed over the south of Primorsky Krai on September 3–4 2020. The survey aimed to study the possible impact of suspended matter flowing down from the road construction in the Land of the Leopard National Park on coastal marine ecosystems of the reserve. Suspended matter was found to have no noticeable effect on water transparency, its salinity, dissolved oxygen content, concentration of chlorophyll-A and plankton community in the surveyed bays. A turbid spot with a slight decrease in the oxygen content was found outside the bay entrance at a depth of more than 15–20 m. Its formation was apparently caused by intensified hydrodynamic processes during Typhoon Maysak.

Keywords: Sea of Japan, Peter the Great Bay, marine biosphere reserve, Typhoon Maysak, hydrological regime, CTD data, turbid spot, zooplankton.

Введение

Прибрежные районы Приморского края в летне-осеннее время подвержены воздействию циклонов и тайфунов, приносящих обильные осадки с интенсивной ветровой динамикой (Grigor'eva, Kucheryavenko 2002; Lobanov et al. 2020; etc.). Осадки вызывают паводки на реках, а также формируют мощные потоки воды со склонов, прилегающих к побережью гор, выносящих в морские прибрежья значительное количество почвенной взвеси.

Прибрежная экосистема восточного участка Дальневосточного морского биосферного заповедника, находящегося под управлением ФГБУ Национальный парк «Земля Леопарда», также подвержена в летний период влиянию терригенного стока с юго-восточного склона Восточно-Маньчжурских гор. Ранее в связи с отсутствием не закрытой растительностью почвы влияние стока было незначительным. Однако строительные работы по прокладке дороги через национальный парк, сопровождавшиеся снятием верхнего слоя почвы, привели к смыву грунта с повреждённых участков и выносу его в виде взвеси в прибрежные воды бухт заповедника.

Цель исследования: изучить степень влияния строительства дороги на экосистему бухт восточного участка заповедника, подверженных воздействию потоков, стекающих с горных склонов, в экстремальных погодных условиях.

Район работ, материалы и методы

Натурные наблюдения в бухтах Восточного участка заповедника, расположенных в юго-западном секторе залива Петра Великого (ЗПВ) (рис. 1А), были выполнены научной группой в период 5–6 сентября 2020 г. сразу после прохождения тайфуна Майсак над югом Приморского края. Наблюдения производились на 33 гидрологических станциях с борта маломерного судна и включали профилирование водной толщи автономным CTD-зондом ASTD102-Rinko (JFE Advantech Co. Ltd., Япония). Зонд при движении от поверхности до дна с частотой 10 Гц измерял основные параметры среды: гидрофизические — температуру, давление и электропроводность, по которым рассчитывали солёность, и гидрохимические — мутность, флуоресценцию хлорофилла-А и концентрацию растворённого кислорода (метрологические характеристики зонда представлены в таблице 1).

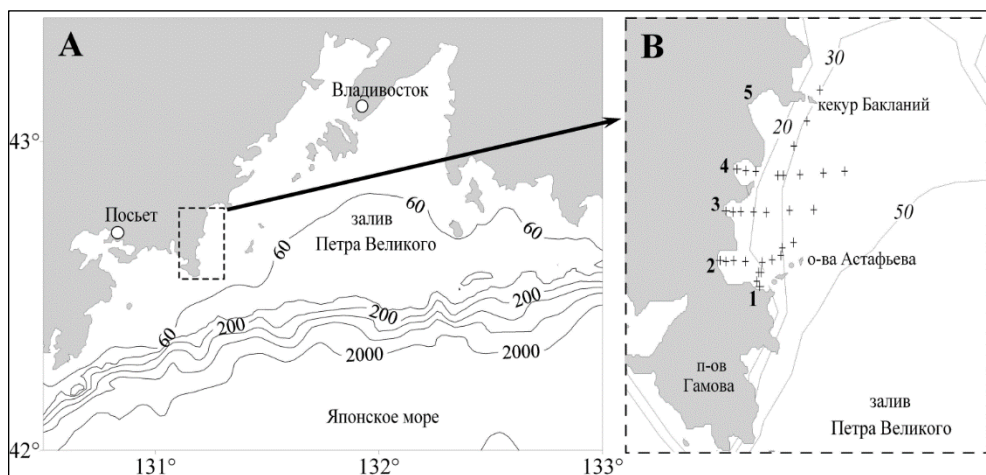


Рис. 1. Карта района исследования: А – залив Петра Великого с изобатами; В – расположение судовых гидрологических станций (1 – б. Спасения, 2 – б. Астафьева, 3 – б. Нерпичья, 4 – б. Средняя, 5 – б. Горшкова).

Fig. 1. Map of study area: А – Peter the Great Bay with isobaths; В – location of the sampling stations (1 – Spaseniya Bay, 2 – Astafieva Bay, 3 – Nerpichya Bay, 4 – Srednyaya Bay, 5 – Gorshkova Bay).

Табл. 1. Метрологические характеристики автономного CTD-зонда* ASTD102-Rinko (JFE Advantech Co. Ltd., Япония).

Tab. 1. Sensor specifications of CTD profiler ASTD102-Rinko (JFE Advantech Co. Ltd., Japan).

Характеристики Parameters	Диапазон Range	Точность Accuracy	Разрешение Resolution	Инерционность, сек. Response time, sec
Температура (t), °С	-5 ÷ +40	0.01	0.001	0.2
Электропроводность (conductivity), мСм/см	0 ÷ 65	0.01	0.001	0.2
Давление (pressure), дбар	0 ÷ 1000	0.3	0.02	0.2
Мутность, NTU**	0 ÷ 1000	2%	0.03	0.2
Хлорофилл (Chl), мг/м ³	0 ÷ 400	1%	0.01	0.2
Кислород (O ₂), мг/л	0 ÷ 20	0.4	0.001	1

*CTD-зонд – гидрологический профилограф, оснащённый, как минимум, тремя основными датчиками: электропроводности, температуры и давления/глубины;

*CTD profiler – hydrological profiler equipped with at least three basic sensors: Conductivity, Temperature and Depth;

**– условная единица мутности, 1 NTU= 1 мг/л (каолин);

** – NTU (Nephelometric Turbidity Unit), 1 NTU= 1 mg/L (kaolin).

5 сентября измерения выполнялись в бухтах Спасения и Средняя, 6 сентября – Нерпичья и Астафьева. Станции CTD-зондирования располагались преимущественно на разрезах (по 7 станций), проложенных поперёк рельефа дна (рис. 1В). Дополнительно к четырём поперечным

разрезам 6 сентября выполнен один продольный (по изобате 30 м) от северной границы исследуемой акватории (кекур Бакланий) до б. Спасения.

Характеристика гидрологических станций, выполненных в бухтах заповедника, и виды работ отражены в таблице 2. Пробы зоопланктона отбирали вертикальным ловом качественной планктонной сетью (диаметр входного отверстия 26 см, газ с размером ячеек 100 мкм) в верхнем 10-метровом слое воды. В центральных мелководных частях бухт глубина отбора составляла 5 м. Все отборы делались в трёх повторностях, но в суровых условиях отбора на четырёх станциях удалось сохранить только по две повторности. Всего собрано и обработано 29 проб планктона. Зафиксированный материал обрабатывали по стандартной методике с использованием бинокляров МБС-10 и Carl Zeiss stemi 2000, а также микроскопа «Ergaval» (Volkov 2008; Kulokova, Kolotukhina 1989; etc.). Пробы планктона просматривали в камере Богорова. Самые ранние личинки моллюсков на стадиях «велигер» не были определены из-за их мелких размеров. При идентификации личинок *Bivalvia* на более поздней стадии (стадия «великонх») использовали определители и литературные данные (Kas'yanov et al. 1983; Semenikhina et al. 2006; Evseev, Kolotukhina 2008; etc.). Для определения таксономического состава планктонных организмов использовали литературные источники (Brodsky et al. 1983; Murina 2005; Poltarukha 2008; Kolbin 2010; etc.). Анализ данных проводили с помощью программы Microsoft Excel.

Табл. 2. Характеристика гидрологических станций, выполненных в бухтах заповедника 5–6 сентября 2020 г.

Tab. 2. Metadata of stations in the reserve bays on September 5–6, 2020.

Дата/время Data/time	Станция Station	Широта Latitude	Долгота Longitude	Глубина (м) Depth (m)	Расстояние до берега (м) Distance from the shore (m)	Виды работ* Activities *
1	2	3	4	5	6	7
05. 09. 2020	б. Спасения (поперечный разрез) (Spaseniya Bay)					
15:10	R1	42.6235	131.2425	40	2690	2
15:20	R2	42.6217	131.2363	36	2200	1, 2
15:28	R3	42.6176	131.2307	31	1560	2
15:36	R4	42.6132	131.2245	25	880	1, 2
15:44	R5	42.6102	131.2222	20	500	2
15:52	R6	42.6080	131.2210	6	240	1, 2
16:00	R7	42.6070	131.2205	2	120	2
05. 09. 2020	б. Средняя (поперечный разрез) (Srednyaya Bay)					
17:40	R8	42.649	131.2720	43	5585	1, 2
17:46	R9	42.6475	131.2592	43	4630	2

1	2	3	4	5	6	7
17:50	R10	42.6470	131.2462	38	3580	1, 2
1	2	3	4	5	6	7
17:56	R11	42.6468	131.2338	31	2585	2
18:02	R12	42.6482	131.2215	20	1570	1, 2
18:05	R13	42.6487	131.2147	12	1010	2
18:08	R14	42.6502	131.2062	5	300	1, 2
06. 09. 2020	б. Нерпичья (поперечный разрез) (Nerpichya Bay)					
8:55	R15	42.6341	131.2030	2	50	2
9:03	R16	42.6342	131.2057	6	270	1, 2
9:12	R17	42.6341	131.2088	10	525	2
9:16	R18	42.6342	131.2132	15	880	2
9:20	R19	42.6341	131.2203	25	1460	2
9:25	R20**	42.6339	131.2273	31	(3046) 2035	2
9:32	R21	42.6346	131.2403	38	3090	2
9:36	R22	42.6348	131.2538	43	4195	2
06. 09. 2020	кекур Бакланий–б. Спасения (продольный разрез) (Baklaniy Stack – Spaseniya Bay)					
10:02	R23	42.6762	131.2572	30	8325	2
10:08	R24	42.6655	131.2500	31	7005	2
10:11	R25	42.6568	131.2427	32	5900	2
10:17	R26	42.6467	131.2368	32	4675	2
06. 09. 2020	б. Астафьева (поперечный разрез) (Astafieva Bay)					
10:30	R27	42.6178	131.2013	3	120	2
10:35	R28	42.6172	131.2053	10	460	1, 2
11:18	R29	42.6190	131.2355	33	2910	1, 2
11:23	R30	42.6167	131.2252	28	(1140) 2070	2
11:26	R31	42.6170	131.2158	21	1300	1, 2
11:30	R32	42.6173	131.2092	15	760	2
11:36	R33	42.6132	131.2232	25	(720)	2

* Виды работ: 1 – отбор проб планктона качественной планктонной сетью в верхнем 10-метровом слое воды; 2 – профилирование водной толщи автономным CTD-зондом.

*Activities: 1 – plankton sampling by net in the upper 10-meter water layer; 2 – CTD profiling of the water column.

** Станции, выделенные *курсивом* – станции продольного разреза с указанием (*в скобках, полужирным шрифтом*) расстояния от береговой черты в б. Спасения и Астафьева.

** – Longitudinal section stations are italicized (distance from the coastline of Spaseniya Bay).

Первичную обработку данных CTD-зондирований выполняли с применением оригинальных программных продуктов (Lazaryuk, Kosheleva 2014). Солёность рассчитывали по стандартной эмпирической формуле Sal78

(UNESCO 1981). Сформированный за период наблюдений массив CTD-данных содержит профили измеренных гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров с разрешением по глубине 0.5 м, а также солёности, определённой с точностью не хуже ± 0.01 епс (единица практической солёности).

Результаты и их обсуждение

Погодные условия анализировали по архиву срочных (8 раз в сутки) метеоданных станций WMO_ID 31969 и 31960 (Посъет и Владивосток, <https://rp5.ru>), расположенных от района исследований в 35 и 93 км, соответственно. Графики атмосферного давления и модуля скорости ветра (рис. 2А, 2В), полученные на станции Посъет с 30 августа по 10 сентября 2020 г., иллюстрируют особенности атмосферных динамических процессов в исследуемом районе ЗПВ во время проведения работ.

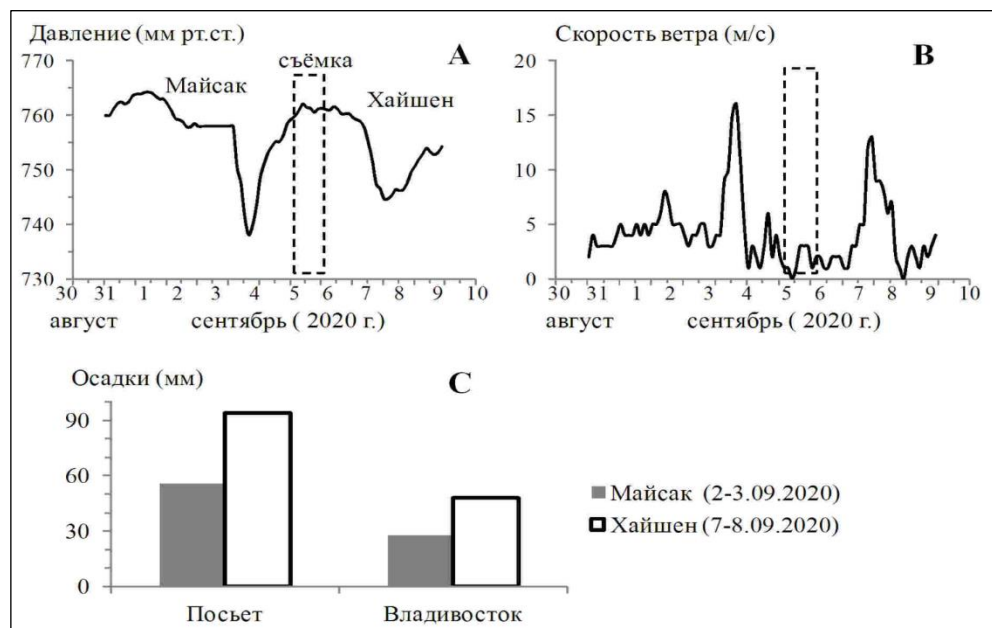


Рис. 2. Метеорологические показатели: А – давление по данным метеостанции Посъет в период 30 августа — 10 сентября 2020 г.; В – средняя скорость ветра в тот же период; С – суммарные осадки, выпавшие во время прохождения тропических циклонов Майсак и Хайшен в районах станций Посъет и Владивосток. Пунктиром выделен временной интервал проведения натурных исследований («съёмка»). Архив погоды: <https://rp5.ru/>

Fig. 2. Air pressure (A) and mean wind speed (B) from August 30 to September 10, 2020 (Posiet weather station). Total precipitation of tropical cyclones Maysak and Haishen at Posiet and Vladivostok stations (C). The dotted line marks the period of field surveys ("shooting"). Weather archive: <https://rp5.ru/>

Периоду гидрологической съёмки (с 14-00 5 сентября по 12-00 6 сентября) предшествовало прохождение тропического циклона Майсак (3–4 сентября). Так, согласно данным станции Посъет, в первой половине суток 3 сентября на фоне стремительного падения атмосферного давления, на 27 гПа за 12 часов, имело место резкое усиление ветра восточных и юго-восточных направлений с 4 м/с до 16 м/с при порывах до 28 м/с. В течение этих 12 часов выпало 28 мм осадков. Всего циклон Майсак принёс их около 60 мм (во Владивостоке осадков выпало вдвое меньше, см. рис. 2С). (Здесь следует отметить, что при прохождении июньского этого же года циклона, аномального по осадкам, было привнесено 120 мм) Заметим, что через пять суток над южными районами Приморского края проследовал тропический циклон Хайшен, который отличался от тайфуна Майсак большим количеством осадков (в 1.5 раза), но у которого были менее выраженными барическая аномалия (падение на 20 гПа за 20 часов) и ветровая динамика (средняя скорость ветра до 13 м/с при порывах до 22 м/с).

Побережье исследуемого района залива Петра Великого открыто ветрам восточных и юго-восточных румбов (рис. 1). Во время прохождения тропического циклона Майсак ветер именно этих направлений доминировал, имея наибольшую интенсивность. Под его воздействием в совокупности с градиентом давления в исследуемых бухтах заповедника в течение суток 3 сентября наблюдался штормовой нагон и аномально высокие волны.

Как правило, ежегодно в период южного муссона (апрель–сентябрь) метеостанции Посъета и Владивостока регистрируют три–четыре случая прохождения тропических циклонов с количеством осадков от 50 мм и более. В отдельные годы их число удваивается (2016 и 2019 гг.). Выходы на юг Приморья циклонов с аномальными осадками, более 90 мм, случаются реже, не чаще одного–двух раз в год.

1. Гидролого-экологические наблюдения

Бухта Средняя. Разрез из б. Средняя в открытую часть залива располагался поперёк рельефа дна, с запада на восток, имея протяжённость 5.59 км. Створ бухты Средняя (линия между входными мысами) с максимальной глубиной $h=20$ м находился на расстоянии 1.57 км от её вершины. Работы на разрезе выполнялись 5 сентября, когда ещё ощущались пост-штормовые явления. Результаты наблюдений, выполненных STD профилографом, представлены на рисунке 3. Первая станция на этом разрезе находилась на глубине $h=5$ м в 300–350 м от впадения ручья. Вертикальные профили гидрологических параметров, измеренные в водной толще от поверхности до дна на станциях: мористой R8 (5.59 км, $h=43$ м) и створной R12 (1.57 км, $h=20$ м), – представлены на рисунке 4.

Как видно на всех фрагментах рисунка 3, непосредственно в б. Средняя (0–1.57 км) выделяется поверхностный слой 0–12 м с относительно

однородными гидрологическими характеристиками: температура 20°C, солёность 31.7 епс, мутность 1.7 NTU, кислород 7.2 мг/л и хлорофилл-А 1.6 мг/м³. В то же время на станции R14, расположенной непосредственно вблизи впадения ручья, в верхнем метровом слое наблюдались аномальные значения: солёность 27.8–30.4 епс, мутность 2–3.6 NTU, кислород 7.4 мг/л и хлорофилл-А 1.1–1.4 мг/м³. На следующей станции от берега (1.07 км) эти отклонения отсутствовали по всем параметрам. На выходе из бухты (створ, 1.57 км), где глубина достигала 20 м, регистрировалось падение температуры до 18°C в придонном слое, отмечался рост солёности до 32.7 епс и мутности до 5 NTU, а также снижение содержания кислорода до 6.8 мг/л и хлорофилла-А до 0.8 мг/м³ (рис. 4).

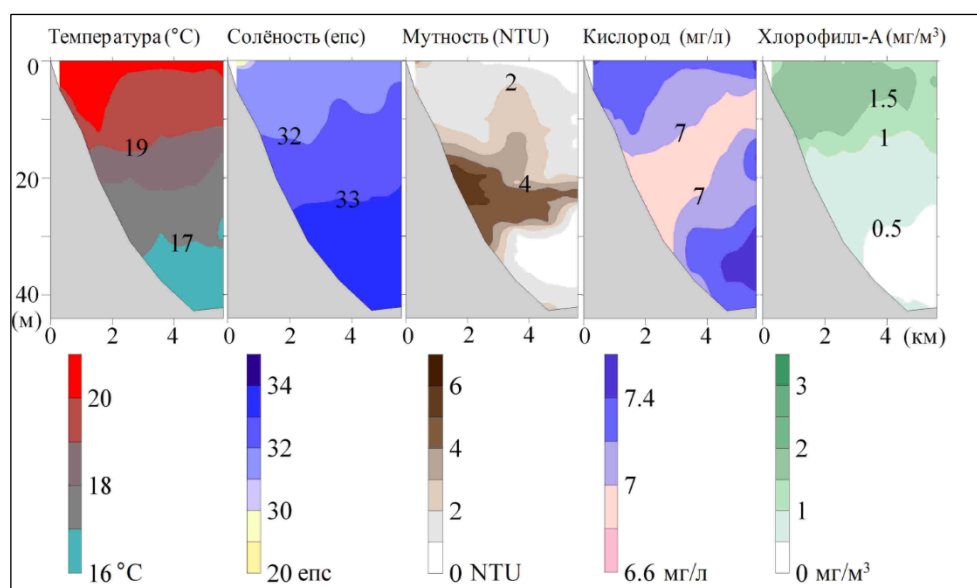


Рис. 3. Гидрологические и гидробиологические характеристики, измеренные ASTD102 на поперечном разрезе в б. Средняя 5 сентября 2020 г. (верхний ряд); шкалы с диапазонами изменчивости характеристик (нижний ряд).

Fig. 3. Hydrological characteristics measured by ASTD102 in Srednyaya Bay on September 5, 2020 (top row); variability scales (bottom row).

По мере удаления от берега и нарастания глубины в поверхностном слое (0–15 м) наблюдались незначительные изменения температуры в пределах 19–20°C и солёности от 31.8–32.2 епс. По сравнению с относительной однородностью этих характеристик ярким событием является «мутное облако» с аномально высокими значениями 2–5 NTU. Это «облако» располагалось в промежуточном слое между горизонтами 10–30 м с крайними глубинами 5–35 м. Его локализация не распространялась непосредственно в бухту (исключая придонный слой до горизонта 15 м). Самые высокие значения, превышающие 5 NTU, находились за пределами створа бухты (2–2.5 км) в слое 20–30 м. В мористой части «облако мутности» выклинивалось,

занимая тонкий 5-метровый слой (рис. 4). Эту аномалию подтверждают падение содержания кислорода до 6.8 мг/л и хлорофилла-А до 0.6 мг/м³. Наличие «облака мутности» обусловлено особенностями прибрежной динамики залива и вызвано прохождением тайфуна Майсак, и оно, несомненно, не связано с локальным поступлением в бухту берегового стока. При подобных атмосферных аномалиях помимо направленных к берегу в поверхностном слое ветрового дрейфового потока и волн, собственно, порождающих штормовой нагон в прибрежной зоне, в её водной толще присутствуют компенсационные течения, которые имеют как вдольбереговую компоненту, так и перпендикулярную, направленную от берега в открытую часть залива (Bowde 1983).

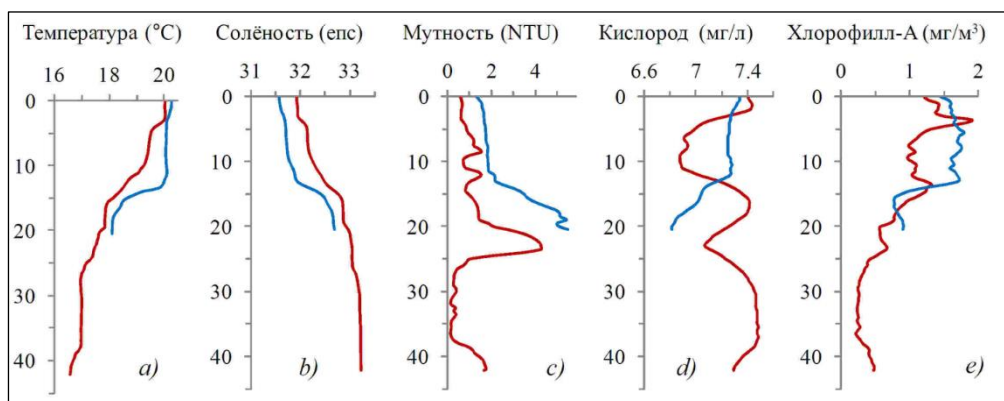


Рис. 4. Профили вертикального распределения гидрологических и гидробиологические характеристик, измеренных зондом ASTD102 на станциях поперечного разреза в б. Средняя 5 сентября 2020 г.: а) – температура; б) – солёность; с) – мутность; d) – кислород; е) – хлорофилл-А, Красным цветом отмечены параметры, полученные на морской станции R8 (5.59 км), синим – на станции, расположенной в створе R12 (1.57 км).

Fig. 4. Temperature (a), salinity (b), turbidity (c), oxygen (d) and chlorophyll-A (e) measured by the ASTD102 at the sampling stations in Srednyaya Bay on September 5, 2020. Red line shows measurements at the seaward station R8 (5.59 km) and blue line on the bay station R12 (1.57 km).

Бухта Нерпичья. Разрез из б. Нерпичья в открытую часть залива протяжённость 4.2 км располагался параллельно предыдущему разрезу из б. Средняя, находясь на 1.6 км южнее (рис. 1). Он был сделан на следующий день 6 сентября при штилевой погоде, когда явные пост-штормовые явления уже отсутствовали. Его данные, представленные на рисунке 5, показывают, что относительно однородный по термохалинным характеристикам (19–20°C и 32 eps) поверхностный слой до 20 м имел локальную неоднородность по солёности (29–31 eps) в слое 0–2 м, расположенную на удалении 3–4 км от берега. Её появление, по-видимому, связано со стоком реки Рязановка, основного источника пресной воды в исследуемой части залива. На

поперечном разрезе также наблюдается «облако мутности» с двумя выраженными экстремумами: до 3 NTU в слое 10–20 м и до 4.7 NTU в слое 30–40 м, в которых содержание кислорода опустилось до 6.6 мг/л. Между этими слоями находилась чистая (менее 1 NTU) и свежая (7.2 мгО₂/л) вода с незначительным локальным максимумом содержания хлорофилла-А (до 1 мг/м³), появление, которой, возможно, связано с притоком вод из открытой части залива.

Бухта Астафьева. Разрез из б. Астафьева имел протяжённость 2.9 км и располагался южнее разреза из б. Нерпичья на 1.9 км (рис. 1). Он был сделан также с борта судна 6 сентября при штилевых погодных условиях. Анализ его гидрологических характеристик, представленный на рисунке 6, показал отсутствие какого-либо влияния берегового стока: солёность 31 епс на максимально близкой к берегу станции R27, с глубиной 2.7 м. Минимум солёности 30 епс в поверхностном слое 0–1 м на этом разрезе зарегистрирован на мористой станции R29 (2.9 км), который, очевидно, является продолжением («отголоском») отмеченного ранее опреснения, обусловленного стоком р. Рязановка. Здесь также наблюдаются аналогичные распределения с двумя слоями экстремальных значений мутности: до 2.2 NTU в слое 15–23 м и до 3.5 NTU у дна (28–33 м) с соответствующим пониженным содержанием кислорода до 6.7–6.9 мг/л, что, фактически, является «следом» прохождения тайфуна Майсак.

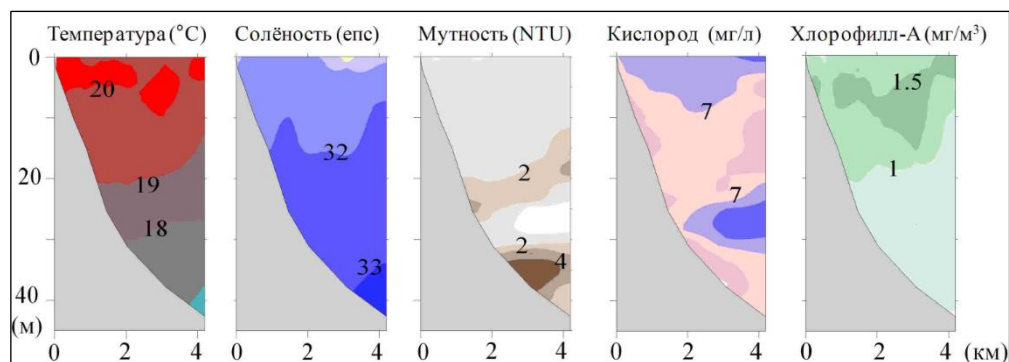


Рис. 5. Гидрологические и гидробиологические характеристики, измеренные зондом ASTD102 на поперечном разрезе в б. Нерпичья 6 сентября 2020 г.

Fig. 5. Hydrological characteristics measured by the CTD profiler in Nerpichya Bay on September 6, 2020.

Бухта Спасения. Разрез из б. Спасения протяжённостью 2.7 км начинался напротив кордона заповедника и далее продолжался на северо-восток вдоль островной гряды (о-ва Астафьева, рис. 1). Он сделан 5 сентября и был первым из серии разрезов, когда ещё ощущались пост-штормовые явления. Согласно результатам (рис. 6), аномалий в полях температуры и солёности не выявлено. «Облако мутности» до 2.2 NTU располагалось в

придонном слое на горизонтах от 15 м и более. Содержание кислорода на этом разрезе варьировало в узком диапазоне, 6.9–7.2 мг/л.

Продольный разрез кекур Бакланий – б. Спасения.

Гидрологические станции на этом разрезе располагались вдоль изобаты 30 м на удалении 3–4 км от берега. Распределение основных характеристик, также измеренных профилографом, соответствовало ранее описанным особенностям мористых участков серии поперечных разрезов, включая «облако мутности» со значениями 2–5 NTU в слое от 15 м и до дна и минимальным содержанием кислорода 6.3 мг/л (на северной станции R23 вблизи кекура Бакланий).

2. Исследование зоопланктона

В пробах планктона, отобранного на станциях, расположенных непосредственно в бухтах Спасения, Средняя, Астафьева и Нерпичья, а также в открытой части залива Петра Великого, обнаружены представители 11 таксономических групп. Из них пять таксонов относятся к постоянному планктону (голопланктону): Chaetognatha, Copepoda, Cladocera, Appendicularia, Foraminifera и шесть таксонов – к временному планктону (меропланктону): Echinodermata, Cirripedia, Decapoda, Nemertini, Mollusca, Polychaeta. Все представленные группы и виды планктеров являются характерными для данного района (Kapel et al. 2004; Kas'yan 2012).

Основу численности голопланктона составляли Copepoda, среди которых доминировали широко распространенные виды – *Oithona similis* (Claus, 1866) (3000–4000 экз./м³) и *Pseudocalanus newmani* (Frost, 1989) (6000–8000 экз./м³). Субдоминировали представители Appendicularia – 700–800 экз./м³ и Cladocera – 500–700 экз./м³. Среди представителей ветвистоусых рачков по численности преобладали виды *Pleopis polyphemoides* (Leuckart, 1859) – 500–700 экз./м³ и *Evadne nordmanni* (Lovén, 1836) – 60–200 экз./м³.

Основу численности меропланктона составляли личинки *Bivalvia* (87–93%), среди которых доминировали представители семейств Mytilidae, Myidae и Veneridae. Их количественные показатели в обработанных нами пробах варьировали в пределах 62–406, 4–296 и 13–137 экз./м³ соответственно (табл. 3). При этом в пробах со станции R14, расположенной в б. Средней непосредственно вблизи впадения ручья, были выявлены максимальные концентрации личинок этих семейств, представленные видами *Septifer keenae* (Nomura, 1936), *Musculista senhousia* (Benson, 1842), *Mya* sp. и *Ruditapes philippinarum* (A. Adams & Reeve, 1850) – 136, 237, 296 и 101 экз./м³, соответственно. Кроме того, на всех станциях отмечено значительное количество личинок ранних стадий – до 144 экз./м³, идентификация которых затруднена из-за их малых размеров и отнесенных по этой причине к группе *Bivalvia* sp.

Больше всего личинок двустворчатых моллюсков отмечено в бухтах на мелководных станциях, расположенных вблизи впадения ручьев – от 667

экз./м³ (б. Астафьева) до 1338 экз./м³ (б. Средняя). По мере удаления от берега численность личинок постепенно уменьшалась. В пробах, отобранных на мористых станциях (глубины 33–43 м), зарегистрирована их минимальная численность – 276–528 экз./м³ (табл. 3). Остальные группы представителей меропланктона встречались значительно реже и в меньшем количестве (табл. 3). Численность всех организмов временного планктона была максимальной в бухте Средняя – 1457 экз./м³.

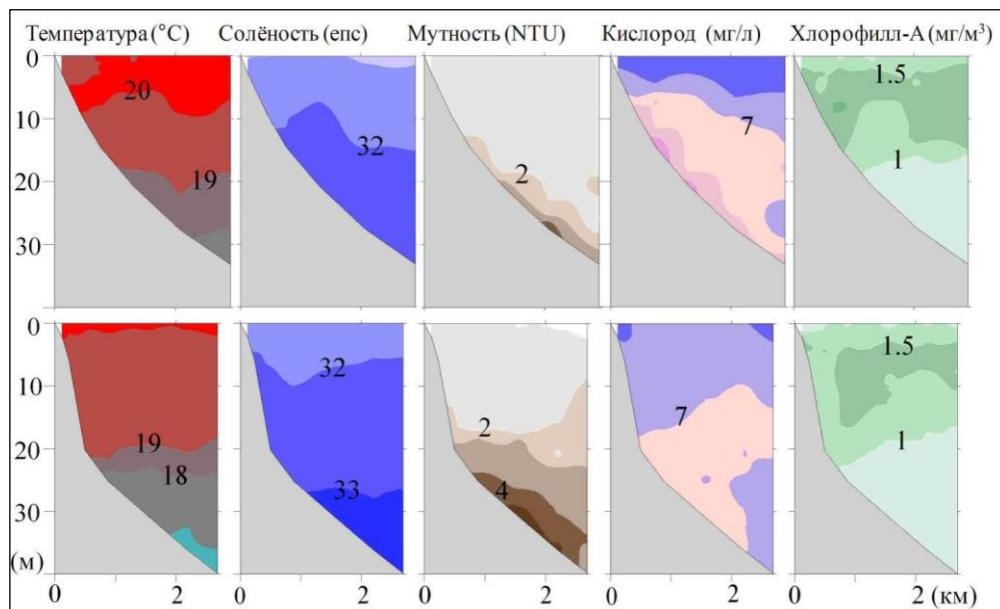


Рис. 6. Гидрологические и гидробиологические характеристики на поперечных разрезах в бухтах Астафьева 6 сентября (верхний ряд) и Спасения 5 сентября 2020 г. (нижний ряд).

Fig. 6. Hydrological characteristics of Astafieva Bay on September 6, 2020 (top row) and Spaseniya Bay on September 5, 2020 (bottom row).

Согласно литературным сведениям (Korn, Kulikova 1997; Keppel' et al. 2004; Kas'yan 2012), в осенние периоды 1990–2010 гг. в этой части ЗПВ численность доминирующих представителей планктонных организмов находилась в пределах: Copepoda – 1000–10000 экз./м³, Appendicularia – 500–1000, Cladocera – 600–1000 и Bivalvia – 90–10500 экз./м³. Наибольшее видовое обилие среди личинок донных беспозвоночных в водах морского заповедника в 2012 г. также отмечали в пробах со станций, находящихся в бухтах, наименьшее – на открытых участках акватории (Ivin et al. 2014). Максимум плотности – 2532 экз./м³, регистрировали в периоды максимальных температур воды (июль-август), который был обеспечен личинками двустворчатых моллюсков семейств Kelliellidae, Mytillidae и Veneridae и личинками полихет. Личинки этих двустворчатых моллюсков принадлежат

видам, типичным для акватории морского заповедника (Lebedev et al. 2004; Lebedev 2015; etc.).

Как видно, сведения о таксономическом составе и обилии планктона, полученные в начале сентября 2020 г. сразу после прохождения тайфуна Майсак, хорошо согласуются с данными проведённых ранее наблюдений и свидетельствуют об относительном благополучии популяций двустворчатых моллюсков в бухтах юго-западного района морского биосферного заповедника.

Табл. 3. Численность массовых представителей меропланктона (экз./м³) на станциях отбора проб в юго-западном районе морского заповедника 5–6 сентября 2020 г.

Tab. 3. Meroplankton abundance (ind./m³) on the sampling stations in the south-western area of the marine reserve on 5–6 September 2020.

Таксон Taxon	б. Спасения Spaseniya B.		б. Средняя Srednyaya B.		б. Нерпичья Nerpichya B.	б. Астафьева Astafieva Bay		Залив Петра Великого Peter the Great Bay
Станция	R6	R4	R14	R12	R16	R28	R31	R2, R8, R10, R29
Глубина (м)	6	25	5	20	6	10	21	33–43
Bivalvia								
Сем. Mytilidae	78	137	406	191	287	220	87	62–117
Сем. Ostreidae	3	28	2	24	30	43	51	13–27
Сем. Pectinidae	1	7	2	4	0	5	13	3–10
Сем. Mactridae	48	74	62	39	55	34	34	17–45
Сем. Tellinidae	21	18	104	12	43	15	9	2–8
Сем. Veneridae	35	59	137	35	66	13	22	20–51
Сем. Myidae	14 3	97	296	79	270	171	60	4–23
Bivalvia sp.	46	114	101	21	94	96	52	85–144
Прочие	87	158	227	94	142	70	77	54–124
Всего	46 2	692	1338	499	988	667	405	276–528
Gastropoda								
Gastropoda sp.	21	25	52	19	34	33	23	16–21
Cirripedia								
Cirripedia sp.	10	11	21	13	13	15	11	9–13
Polychaeta								
Polychaeta sp.	15	21	34	16	21	23	15	10–13
Echinodermata								
Echinodermata sp.	6	8	13	7	6	10	7	4–6
Всего	51 2	757	1457	554	1061	748	461	317–559

Заклучение

Экологическое обследование толщи воды в бухтах восточного участка Дальневосточного морского государственного биосферного заповедника после прохождения тайфуна Майсак не выявило воздействия потоков взвешенных веществ от строящейся дороги через национальный парк «Земля Леопарда» на прибрежные морские экосистемы. Каких-либо прослоек или линз опресненной с повышенной мутностью воды, поступившей с водосбор, не обнаружено. Лишь на удалении более двух км от берега зафиксировано «облако мутности» в придонных слоях на глубинах свыше 15 м, которое отличалось пониженным содержанием кислорода (менее 7 мг/л) и смещением фотического слоя ближе к поверхности, что, по-видимому, обусловлено особенностями прибрежной динамики в обследованной части ЗПВ и вызвано прохождением тайфуна Майсак.

Прохождение тайфуна Майсак никак не сказалось на таксономическом составе и обилии планктона в бухтах морского заповедника. В начале сентября 2020 г. здесь обнаружены те же таксоны (при сходном обилии) голопланктона (*Chaetognatha*, *Copepoda*, *Cladocera*, *Appendicularia*, *Foraminifera*) и меропланктона (*Echinodermata*, *Cirripedia*, *Decapoda*, *Nemertini*, *Mollusca*, *Polychaeta*), которые были выявлены предыдущими исследователями в этом районе в начале 2000-х и 2010-х годов и являются характерными для данных заповедных акваторий.

Благодарности

Авторы благодарны научному сотруднику лаборатории систематики и морфологии Национального научного центра морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН Наталье Константиновне Колотухиной за помощь в идентификации личинок двустворчатых моллюсков, а также редакторам журнала и рецензенту д.б.н. А. В. Мощенко за конструктивную критику и ценные рекомендации.

Работа выполнена по госбюджетной теме №121021700346-7. Гидрологическое оборудование предоставлено Центром коллективного пользования Морской биобанк ННЦМБ ДВО РАН — <http://marbank.dvo.ru/>.

References/Литература

Bowden K. F. 1983. *Physical Oceanography of Coastal Waters*. Southampton, Camelot Press Ltd., Great Britain.

Brodskiĭ K. A., Vyshkvarceva N. V., Kos M. S., Marhaseva E. L. 1983. *Veslonogie rakoobraznye morej USSR i sopredel'nyh vod* [Copepods of the seas of the USSR and adjacent waters]. (Key to the fauna of the USSR, ZIN AN USSR, Vyp. 35), Nauka, Leningrad. [In Russian] (**Бродский К. А., Вышкварцева Н. В., Кос М. С., Мархасева Е. Л.** *Веслоногие ракообразные морей СССР и сопредельных вод*. Л. : Наука, 357 с. (определитель по фауне СССР, изд. ЗИН АН СССР, Вып. 35).

Grigor'eva N. I., Kucheryavenko A. V. 2002. Gidrologicheskie usloviya yugo-zapadnoj chasti zal. Petra Velikogo [Hydrological conditions of the southwestern part of the Peter the Great Bay]. *Izvestiya TINRO* 131: 78–95. [In Russian]. (**Григорьева Н. И., Кучерявенко А. В.** Гидрологические условия юго-западной части зал. Петра Великого // Известия ТИНРО. 2002. Т. 131. С. 78–95).

Evseev G. A., Kolotuhina N. K. 2008. Comparative morphology and problems of taxonomy of pelagic larvae of the family Mytilidae (Mollusca: Bivalvia) in Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Byulleten' Dal'nevostochnogo malakologicheskogo obshchestva* (12): 5–41. [In Russian] (**Евсеев Г. А., Колотухина Н. К.** 2008. Сравнительная морфология и проблемы таксономии пелагических личинок семейства Mytilidae (Mollusca: Bivalvia) залива Петра Великого Японского моря // Бюллетень Дальневосточного малакологического общества. Вып. 12. С. 5–41).

Ivin V. V., Zvyaginцев A. Yu., Kashin I. A. 2014. Monitoring and control of alien species in marine and island specially protected natural areas on the example of the Far East Marine State Natural Biosphere Reserve. *Rossijskij Zhurnal Biologicheskij Invazij* (2): 47–79. [In Russian] (**Ивин В. В., Звягинцев А. Ю., Кашин И. А.** Мониторинг и контроль чужеродных видов в морских и островных особо охраняемых природных территориях на примере Дальневосточного морского государственного природного биосферного заповедника // Рос. журн. биол. инвазий. 2014. № 2. С. 47–79).

Kas'yan V. V. 2018. Prostranstvennoe raspredelenie zooplanktona v Dal'nevostochnom morskome zapovednike (Yaponskoe more) v 2012 godu [Spatial distribution of zooplankton in the Far Eastern Marine Reserve (Sea of Japan) in 2012]. *Issledovaniya vodnyh biologicheskij resursov Kamchatki i Severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana* (51): 73–83. [In Russian] (**Касьян В. В.** 2018. Пространственное распределение зоопланктона в Дальневосточном морском заповеднике (Японское море) в 2012 году // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-западной части Тихого океана. Вып. 51. С. 73–83).

Kas'yanov V. L., Kryuchkova G. A., Kulikova V. A., Medvedeva L. A. 1983. *Lichinki morskij dvustvorchatykh mollyuskov i iglokozhih* [Larvae of marine bivalve molluscs and echinoderms]. Nauka, Moscow. [In Russian] (**Касьянов В. Л., Крючкова Г. А., Куликова В. А., Медведева Л. А.** Личинки морских двустворчатых моллюсков и иглокожих. М. : Наука, 1983. 215 с.).

Kepel' A. A., Tyurin A. N., Katin I. O., Markevich A. I., Bogdanova I. N., Dautov S. Sh., et al. 2004. Morskaya biota, in A. N. Tyurin (ed.), *Dal'nevostochnyj morskoy biosfernyj zapovednik. Issledovaniya* [Marine biota. Far Eastern Marine Biosphere Reserve. Research] 1: 367–469. [In Russian] (**Кепель А. А., Тюрин А. Н., Катин И. О., Маркевич А. И., и др.** 2004. Морская биота. Дальневосточный морской биосферный заповедник. Исследования. Т. 1. С. 367–469).

Kolbin K. G. 2010. *Razmnozhenie i razvitie nekotorykh massovykh vidov perednezhabernykh bryuhonogij mollyuskov zaliva Petra Velikogo Yaponskogo morya*: Avtoref. dis... kand. biol. nauk. FEFU, Vladivostok. [In Russian] (**Колбин К. Г.** 2010. Размножение и развитие некоторых массовых видов переднежаберных брюхоногих моллюсков залива Петра Великого Японского моря: Автореф. дис... канд. биол. наук. Владивосток : ДВГТУ. 23 с.).

Korn O. M., Kulikova V. A. 1997. *Issledovaniya lichinochnogo planktona v rossijskijh vodah Yaponskogo morya* [Research of larval plankton in the Russian waters of

the Sea of Japan]. *Biologiya Morya* 23(1): 3–14. [In Russian] (**Корн О.М., Куликова В. А.** 1997. Исследования личиночного планктона в российских водах Японского моря // Биология моря. Т. 23, № 1. С. 3–14).

Kornienko E. S., Korn O. M. 2010. *Opredelitel' lichinok krabov infraotryada Brachyura severo-zapadnoj chasti Yaponskogo moray* [Key to the larvae of crabs of the infraorder Brachyura in the northwestern part of the Sea of Japan]. Dal'nauka, Vladivostok. [In Russian] (**Корниенко Е. С., Корн О.М.** 2010. Определитель личинок крабов инфраотряда Brachyura северо-западной части Японского моря. Владивосток : Дальнаука. 120 с.).

Kulikova V. A., Kolotuhina N. K. 1989. Pelagicheskie lichinki dvustvorchatyh mollyuskov Yaponskogo morya. Metody, morfologiya, identifikaciya [Pelagic larvae of bivalve molluscs from the Sea of Japan. Methods, morphology, identification]. Preprint № 21. DVO AN USSR, Vladivostok. [In Russian] (**Куликова В. А., Колотухина Н.** 1989. Пелагические личинки двустворчатых моллюсков Японского моря. Методы, морфология, идентификация. Препринт № 21. Владивосток : ДВО АН СССР. 60 с.).

Kulikova V. A., Kolotuhina N. K., Omel'yanenko V. V. 2013. Pelagic larvae of the bivalves of Ussuriysky Bay, Sea of Japan. *Biologiya Morya* 39 (6): 452–458. [In Russian]. (**Куликова В. А., Колотухина Н. К., Омеляненко В. В.** 2013. Пелагические личинки двустворчатых моллюсков Уссурийского залива Японского моря // Биология моря. Т. 39, № 6. С. 452–458).

Kulikova V. A., Kolotuhina N. K., Omel'yanenko V. V. 2014. Pelagic larvae of bivalve mollusks of Amursky Bay, Sea of Japan. *Biologiya Morya* 40 (5): 342–352. [In Russian]. (**Куликова В. А., Колотухина Н. К., Омеляненко В. В.** 2014. Пелагические личинки двустворчатых моллюсков Амурского залива Японского моря // Биология моря. Т. 40, № 5. С. 342–352).

Lazaryuk A. Yu., Kosheleva A. V. *Korrekcija dannyh glubokovodnyh gidrologicheskikh nablyudenij s pomoshch'yu CTD-zondov (CTDdata_cor)* [Correction of deep-water hydrological observation data using CTD-probes]. Certificate of state registration of a computer program № 2014619779. Copyright holder: POI FEB RAS. Registered September 22, 2014. [In Russian] (**Лазарюк А. Ю., Кошелева А. В.** Коррекция данных глубоководных гидрологических наблюдений с помощью CTD-зондов (CTDdata_cor). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014619779. Правообладатель: ТОИ ДВО РАН. Зарегистрировано в реестре 22 сентября 2014 г.).

Lebedev E. B., Ivanova M. B., Moskalec I. P., et al., 2004. Bivalvia, in in A. N. Tyurin (ed.), *Dal'nevostochnyj morskoy biosfernyj zapovednik. Issledovaniya* [Far Eastern Marine Biosphere Reserve. Research] 2: 187–200. [In Russian] (**Лебедев Е. Б., Иванова М. Б., Москалец И. П.,** *Bivalvia // Дальневосточный морской биосферный заповедник. Биота. Т. 2. / отв. ред. А. Н. Тюрин. – Владивосток : Дальнаука. 2004. С. 187–200).*

Lebedev E. B. 2015. Dvustvorchatye mollyuski (Mollusca. Bivalvia) Dal'nevostochnogo morskogo zapovednika [Bivalve molluscs (Mollusca. Bivalvia) of the Far East Marine Reserve]. *Biodiversity and Environment of Far East Reserves* (1): 32–53. [In Russian] (**Лебедев Е. Б.** Двустворчатые моллюски (Mollusca. Bivalvia) Дальневосточного морского заповедника // Biodiversity and Environment of Far East Reserves. 2015. № 1. С. 32–53).

Lobanov V. B., Lazaryuk A. Yu., Ponomarev V. I., Sergeev A. F., Kustova E. V., Mar'ina E. N., et al. 2020. Rezul'taty gidrometeorologicheskikh izmerenij kompleksom

priborov buya WaveScan na yugo-zapadnom shel'fe zaliva Petra Velikogo v 2016 g. [The results of hydrometeorological measurements by the WaveScan buoy system on the southwestern shelf of the Peter the Great Bay in 2016]. *Okeanologicheskie Issledovaniya* 48(4): 5–31. [In Russian] (**Лобанов В. Б., Лазарюк А. Ю., Пономарев В. И., и др.** Результаты гидрометеорологических измерений комплексом приборов буя WaveScan на юго-западном шельфе залива Петра Великого в 2016 г. // *Океанологические исследования*, 2020, Том. 48, № 4, С. 5–31). DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2020.48(4).1

Murina V. V. 2005. *Opredelitel' pelagicheskikh lichinok mnogoshchetinkovykh chervej (Polychaeta) Chernogo moray* [Keys to pelagic larvae of polychaete worms (Polychaeta) of the Black Sea]. ЕКОСИ-Гидрофизика, Sevastopol'. [In Russian] (**Мурина В. В.** 2005. Определитель пелагических личинок многощетинковых червей (Polychaeta) Черного моря. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика. 67 с.).

Poltaruha O. P., Korn O. M. 2008. *Atlas-opredelitel' lichinok usonogih rakov (Cirripedia: Thoracica) pribrezhnykh vod Rossii* [Atlas-Keys for Barnacle Larvae (Cirripedia: Thoracica) of Russian Coastal Waters]. КМК Scientific Press Ltd., Moscow. [In Russian] (**Полтаруха О.П., Корн О.М.** Атлас-определитель личинок усоногих раков (Cirripedia: Thoracica) прибрежных вод России. Москва : КМК, 2008. 152 с.).

Rekomendacii po ekspress-obrabotke setnogo planktona v more [Recommendations for express processing of net plankton in the sea]. 1984. TINRO, Vladivostok. [In Russian] (Рекомендации по экспресс-обработке сетного планктона в море. Владивосток : ТИНРО, 1984. 31 с.).

Reliable Prognosis LLC, 2021. *Reliable Prognosis*: <https://rp5.ru/>. *Weather archive*. [online] (Архив погоды. Электронный ресурс: <https://rp5.ru/>)

Semenihina O. Ya., Kolotuhina N. K., Evseev G. A. 2006. Morfologiya lichinok dvustvorchatykh mollyuskov semejstva Veneridae (Bivalvia) Yaponskogo morya [Morphology of larvae of bivalve mollusks of the family Veneridae (Bivalvia) of the Sea of Japan]. *Zoologicheskij zhurnal* 85(9): 1067–1075. [In Russian] (**Семенихина О. Я., Колотухина Н.К., Евсеев Г. А.** 2006. Морфология личинок двустворчатых моллюсков семейства Veneridae (Bivalvia) Японского моря // *Зоол. журн.* Т. 85, № 9. С. 1067–1075.)

Skarlato O. A., Golikov A. N., Vasilenko S. V., Cvetkova N. L., Gruzov E. N., Nesis K. N. 1967. Sostav, struktura i raspredelenie donnykh biocenozov v pribrezhnykh vodah zaliva Pos'et (Yaponskoe more) [Composition, structure and distribution of bottom biocenoses in the coastal waters of Posiet Bay (Sea of Japan)]. *Issled. fauny morej* 5(13): 5–61. [In Russian] (**Скарлато О. А., Голиков А. Н., Василенко С. В., Цветкова Н. Л., Грузов Е. Н., Несис К. Н.** Состав, структура и распределение донных биоценозов в прибрежных водах залива Посьет (Японское море) // *Исслед. фауны морей*. 1967. Т. V (XIII). С. 5–61).

Volkov A. F. 2008. Metodika sbora i obrabotki planktona i prob po pitaniyu nektona (poshagovye instrukcii) [Methods for collecting and processing plankton and samples for feeding nekton (step-by-step instructions)]. *Izv. TINRO* 154: 405–416. [In Russian] (**Волков А. Ф.** 2008. Методика сбора и обработки планктона и проб по питанию нектона (пошаговые инструкции) // *Известия ТИНРО*. Т. 154. С. 405–416).

UNESCO. 1981. The practical salinity scale 1978 and the International Equation of State of Seawater 1980. The 10th report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards. UNESCO Technical papers in Marine Science. No. 36. 25 p.