



ОПТИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Г.И.Долгих^{1,2}, академик РАН, д.ф.-м.н., dolgikh@poi.dvo.ru,
С.Г.Долгих^{1,2}, к.ф.-м.н., В.А.Чупин^{1,2}, к.ф.-м.н.,
В.К.Фищенко^{1,2}, к.т.н.,
В.А.Швец^{1,2}, к.т.н., С.В.Яковенко^{1,2}, к.т.н.
¹Дальневосточный федеральный университет, Владивосток
²Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И.Ильичева ДВО РАН, Владивосток

Поведение морских животных, рыб, зоо- и фитопланктона, а также других живых представителей Мирового океана тесно связано с динамикой разномасштабных гидрофизических процессов. С целью изучения этих связей был создан описанный в статье оптико-биологический комплекс. Комплекс состоит из лазерного измерителя вариаций гидросферного давления, флуориметра и системы подводного видео мониторинга. При проведении испытаний комплекса в натуральных условиях установлено, что концентрация фитопланктона на конкретных горизонтах зависит от вариаций гидросферного давления, вызванного поверхностными морскими ветровыми волнами и приливами.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, динамика численности или биомассы фитопланктона определяется процессами фотосинтеза, заключающимися в построении органического вещества из минеральных соединений. Основную роль в этой динамике играет солнечная энергия. В связи с этим основное внимание при изучении динамики первичного продуцента органического вещества в различных водоемах уделялось сезонным, годовым и межгодовым вариациям. При этом практически не уделялось внимание мелкомасштабным процессам, которые могут оказывать существенное влияние на динамику цепочки "фитопланктон-зоопланктон-рыбы-морские животные". К мелкомасштабным процессам мы отнесем процессы, временная длительность которых простирается от суточных приливов до ветровых волн, т.е. процессов, длительность которых лежит в диапазоне от 24 часов до 1 секунды. В этом диапазоне периодов находятся различные гидрофизические процессы, имеющие периодический и квазипериодический характер: приливы, инерционные колебания, сейши, внутренние волны, зыбь, реги-

OPTICAL AND BIOLOGICAL COMPLEX

G.I.Dolgikh^{1,2}, Academician of RAS, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, dolgikh@poi.dvo.ru
S.G.Dolgikh^{1,2}, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, V.A. Chupin^{1,2}, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, V.K.Fishchenko^{1,2}, Candidate of Technical Sciences,
V.A.Shvets^{1,2}, Candidate of Technical Sciences, S.V.Yakovenko^{1,2}, Candidate of Technical Sciences
¹Far Eastern Federal University, Vladivostok
²V.I.Ilyichov Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok

The behavior of marine animals, fish, zooplankton and phytoplankton, as well as other living representatives of the World Ocean is closely related to the dynamics of various-scale hydrophysical processes. With the purpose of studying this connection, an optical and biological complex described in the article was created, consisting of a laser instrument, measuring variations in hydrosphere pressure, a fluorimeter, and an underwater video monitoring system. When testing the complex in full-scale conditions, it was established that the concentration of phytoplankton at specific horizons depends on variations in hydrospheric pressure caused by surface sea wind waves and tides.

INTRODUCTION

It is a well-known fact, that the dynamics of phytoplankton abundance or biomass is determined by the processes of photosynthesis, consisting in the construction of organic matter from mineral compounds. The solar energy plays the main role in the dynamics. In this connection, the main attention in the study of the dynamics of the primary producer of organic matter in various water bodies was given to seasonal, annual and interannual variations. At the same time, little attention has been paid to small-scale processes, which can have a significant effect on the dynamics of the phytoplankton-zooplankton-fish-marine animals chain. The small-scale processes include the processes that lie in the range from daily tides to wind waves, i.e. the processes that lie in the range of periods from 24 h to 1 s. There are various hydrophysical processes of periodic and quasiperiodic in this range of periods characters: tides, inertial oscillations, seiches, internal waves,



ональные ветровые волны. Для изучения связей характеристик данных процессов с биомассой первичного продуцента органического вещества, морских животных и рыб был создан комплекс. Он состоял из лазерного измерителя вариаций гидросферного давления, флуориметра и системы подводного видео мониторинга, который способен регистрировать любые периодические и квазипериодические вариации основных гидрофизических параметров (давление, температура) в рассматриваемом диапазоне периодов, а также вариации численности исследуемой биомассы. Одной из исследуемых задач комплекса стоит задача по определению порогового уровня колебаний гидрофизических параметров, на который откликается биомасса.

ОПИСАНИЕ КОМПЛЕКСА

Как было сказано выше, оптико-биологический комплекс состоит из лазерного измерителя вариаций гидросферного давления, флуориметра и системы подводного видео мониторинга. Дополнительно он оснащен линиями электропитания и телекоммуникационными линиями для передачи информации с мест постановки в береговые лабораторные помещения, многозарядным АЦП, системой точного времени, компьютером, предназначенным для первичной обработки и записи полученных экспериментальных данных на твердые носители.

В настоящее время созданы лазерные измерители вариаций гидросферного давления и их модификации [1-3], предназначенные для измерения вариаций гидросферного давления с точностью от 1 мПа до 1 мкПа в частотном диапазоне от 0 (условно) до 1000 Гц. Дополнительно данные установки оснащены высокочувствительными термодатчиками для параллельного измерения вариаций температуры. По частотному диапазону и точности измерения исследуемых параметров данные установки являются наиболее подходящими при проведении мониторинговых работ по изучению влияния гидрофизических процессов на различные биообъекты. Кроме того, данные лазерно-интерференционные приемные системы используются в комплексе с береговыми лазерными деформографами для изучения различных гидроакустических и гидрофизических процессов и закономерностей их трансформации на границе раздела сред [4-6].

В постановочной раме рядом с лазерным измерителем вариаций гидросферного давления закреплен флуориметр C3 (рис.1, правая часть). Погружной флуориметр C3 (производство компании Turner Designs) укомплектован двумя светочувствительными датчиками "in vivo" для измерения люминес-

swell, regional wind waves. To study the relationship of these processes to the biomass of the primary producer of organic matter, marine animals and fish, a complex was created consisting of a laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations, a fluorimeter and an underwater video monitoring system that is capable of recording any periodic and quasiperiodic variations of the main hydrophysical parameters (pressure, temperature) in the period range under consideration, as well as the variations in the abundance of the biomass under study. One of the investigated problems of the complex is the task of determining the threshold level of hydrophysical parameters oscillations to which biomass responds.

DESCRIPTION OF THE COMPLEX

As it was said above, the optical and biological complex consists of a laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations, a fluorimeter and an underwater video monitoring system. In addition, it is equipped with power lines and telecommunication lines for transmitting information from the stations to the shore laboratory premises, a multi-bit ADC, an exact time system, a computer designed for primary processing and recording of the experimental data on solid carriers.

Currently, the laser instruments, measuring hydrospheric pressure variations and their modifications have been developed [1-3], designed to measure variations in hydrosphere pressure with an accuracy of 1 mPa to 1 μ Pa in the frequency range from 0 (conditionally) to 1000 Hz. Furthermore, these units are equipped with high-sensitivity temperature sensors for parallel measurement of temperature variations. With respect to the frequency range and the accuracy of measurements of the parameters under study, these installations are most suitable for conducting monitoring works on the effect of hydrophysical processes on various bioobjects. Moreover, these laser-interference reception systems are used in conjunction with onshore laser deformographs to study various hydroacoustic and hydrophysical processes and the laws of their transformation at the media interface [4-6].

The fluorimeter C3 is fixed in the setting frame next to the laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations (see Figure 1, right-hand side). Submersible fluorimeter C3, manufactured by Turner Designs, is equipped with two in vivo photosensitive sensors for measuring the luminescence of phytoplankton chlorophyll in blue 460 nm and red 635 nm radiation spectra. The range of blue radiation



ценции хлорофилла фитопланктона в синем 460 нм и красном 635 нм диапазонах спектра излучения. Диапазон синего излучения позволяет зафиксировать концентрацию в диапазоне 0,025–500 мкг/л. Диапазон красного излучения – более 500 мкг/л. Прибор также укомплектован датчиками давления и температуры. Долговечный корпус сделан из полиформальдегида Delrin, что позволяет работать в агрессивной морской среде. Поверхности корпуса возле оптических датчиков комплектуются медными вставками для понижения биологического загрязнения светочувствительных элементов. Вес прибора 1,64 кг, длина 23 см, диаметр 10 см, диапазон температур от –2 °С до 50 °С. Глубина погружения до 600 м. Максимальная дискретность получения данных 1 Гц. Флуориметр обладает возможностью вывода данных как цифровом в формате ASCII, так и получение аналоговых данных при наличии соответствующего адаптера.

Система подводного видеонаблюдения организована на базе сетевой видеокамеры TANTOS TSi-Ple2VPZ с разрешением кадра 1920×1080 пикселей при частоте смены кадров в видеопотоке до 30 кадров в секунду. Камера снабжена моторизованным объективом с переменным фокусным расстоянием 2,8–12 мм, что обеспечивает возможность дистанционного регулирования угла обзора наблюдаемой сцены в диапазоне 27–91 угловых градусов. Вместе с блоком управления она помещена в водонепроницаемый цилиндрический металлический бокс, одна из боковых сторон которого выполнена из прочного стекла, через которое камера наблюдает подводные сцены. Бокс крепится к массивному основанию и вместе с ним опускается в море в месте постановки. К боксу подведены кабели электропитания и связи, позволяющие размещать видеосистему на расстояниях до 400 м от берега. Тестовые испытания путем опускания бокса в море с судна показали его способность выдерживать погружения, по крайней мере, до 100 м, что достаточно для использования практически на любых прибрежных акваториях Залива Петра Великого. Для наблюдения в ночное время и на больших глубинах система оснащена фонарями подсветки, которые могут дистанционно включаться и выключаться. Береговой пункт связи подключен к ближайшему узлу телекоммуникационной сети системы мониторинга залива Петра Великого. Это обеспечивает передачу в реальном времени данных подводного видеонаблюдения в информационные хранилища системы мониторинга во Владивостоке, а также трансляцию живого видео с камеры в сеть Интернет. На рис.1 (левая часть) показана аналогичная

allows to fix the concentration in the range of 0.025–500 µg/l. The range of red radiation is over 500 µg/l. The instrument is also equipped with pressure and temperature sensors. The durable housing is made of Delrin poly-formaldehyde, which allows operating in aggressive marine environment. The surface of the housing near the optical sensors is equipped with copper inserts to reduce the biological contamination of photosensitive elements. Weight of the instrument is 1.64 kg, its length is 23 cm, its diameter is 10 cm, temperature range from –2 °C to 50 °C. Depth of immersion is up to 600 m. The maximum discreteness of the data acquisition is 1 Hz. The fluorimeter has the ability to output digital data in ASCII format, or obtaining analog data in the presence of an appropriate adapter.

The underwater video surveillance system is based on TANTOS TSi-Ple2VPZ network video camera, which has 1920×1080 pixel frame resolution with a video frame rate of up to 30 per second. The camera is equipped with a motorized lens with a variable focal length of 2.8–12 mm, which allows for remote control of the viewing angle of the observed scene in the range of 27–91 degrees. Together with the control unit, it is placed in a waterproof cylindrical metal box, one of the sides of which is made of durable glass, through which the camera observes underwater scenes. The box is attached to a massive base and, together with it, descends into the sea at the place of setting. The power and communication cables are connected to the box, allowing placing the video system at distances up to 400 m from the shore. Trials by descending the box into the sea from the vessel have demonstrated its ability to withstand immersing, at least up to 100 m, which is sufficient for use on virtually any coastal water area of the Peter the Great Bay. To monitor at night and at great depths, the system is equipped with flashlights that can be remotely switched on and off. The coastal communication point is connected to the nearest node of the telecommunication network of the scientific monitoring system of the Peter the Great Bay. This provides real-time transmission of underwater video surveillance data to monitoring information stores in Vladivostok, as well as live video transmission from the camera to the Internet. Fig. 1 (left) shows a similar underwater video observation system, established in 2014 in Alekseev Bay (Popov Island, the Peter the Great Bay).

The laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations, together with a fluorimeter was first installed in the Vityaz Bay 200 m from the shore near the pier of the Marine Experimental Station "The Cape of Shultz" on June 23, 2016. Subsequently, the

описанной система подводного видео наблюдения, установленная в 2014 году в бухте Алексеева (о-в Попова, залив Петра Великого).

Лазерный измеритель вариаций гидросферного давления совместно с флуориметром первый раз были установлены в бухте Витязь в 200 м от берега в районе пирса Морской экспериментальной станции "Мыс Шульца" 23 июня 2016 года. После комплекс из этих двух приборов несколько раз переустанавливали в разные точки акватории бухты Витязь на расстояниях от 100 до 250 м от берега. Подводная видеосистема впервые была установлена 24 октября 2016 года в 100 м от берега в непосредственной близости от флуориметра. Чтобы исключить влияние ночной подсветки камеры на регистрируемые флуориметром показатели последний позднее был перемещен на расстояние 20 м от камеры в сторону моря. Всего можно выделить две постановки, когда достаточно длительное время все три прибора комплекса находились примерно в одном месте. Первая постановка на расстоянии около 100 м от берега и глубине 5 м осуществлялась с октября 2016 года по начало января 2017 года, вторая постановка на расстоянии 200 м от берега на глубине 15 м – с 16 мая 2017 года по настоящее время. На рис.2 отмечены места расположения приборов во время первой и второй постановок: кругами – подводной камеры, ромбами – комплекса гидрофон-флуориметр. Отме-

complex of these two instruments was re-installed several times in different points of the Vityaz Bay at distances from 100 to 250 m from the shore. The underwater video system was first installed on October 24, 2016, 100 meters from the shore in the immediate vicinity of the fluorimeter. In order to exclude the influence of the night illumination of the camera on the parameters recorded by the fluorimeter, the latter was later moved 20 m from the camera towards the sea. In total, you can distinguish two settings, when for fairly long time all three devices of the complex were located in approximately the same place. The first setting at a distance of about 100 m from the shore and a depth of 5 m was carried out from October 2016 to early January 2017, the second, at a distance of 200 m from the shore at a depth of 15 m – from May 16, 2017 to the present. Fig. 2 shows the location of the instruments during the first and second settings: circles – underwater camera, diamonds – a hydrophone-fluorimeter complex. Note that in both cases the optical axis of the camera was oriented from the shore towards the open part of the bay.

All information received from the measuring settings of the complex through the cable lines goes to the onshore laboratory building, where it is entered into the created database of experimental data after preliminary processing. The data from all the near-



Рис.1. Постановочная рама с флуориметром и лазерным измерителем вариаций гидросферного давления (вид с системы подводного видео мониторинга: а) флуориметр – сверху, лазерный измеритель вариаций гидросферного давления – внизу); б) на заднем плане – второй лазерный измеритель вариаций гидросферного давления

Fig. 1. Setting frame with a fluorimeter and a laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations (view from underwater video monitoring system: a) fluorimeter – top, laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations – bottom); b) – there is a second laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations in the background

тим, что в обоих случаях оптическая ось камеры была ориентирована от берега в сторону открытой части бухты.

Вся полученная информация измерительных установок комплекса по кабельным линиям поступает в береговой лабораторный корпус, где после предварительной обработки заносится в созданную базу экспериментальных данных. Данные со всех приборов наблюдения в режиме близком к реальному времени поступают в файловое хранилище системы научного мониторинга залива Петра Великого в здании ТОИ ДВО РАН и становятся доступными научным специалистам института. Данные лазерного измерителя вариаций гидросферного давления представлены в хранилище одночасовыми файлами с записями сигналов вариаций гидросферного давления, оцифрованных с частотой 1000 Гц. Данные флуориметра представлены суточными файлами сигналов изменения удельного содержания в воде хлорофилла-а, частота дискретизации 1 Гц. Данные системы видеонаблюдения представлены моментальными снимками и небольшими видеозаписями подводной сцены, производимыми с временными интервалами в 1 и 30 минут соответственно. Система подводного видео наблюдения применяется: для визуального контроля ситуации в месте размещения двух пер-

real-time monitoring devices enter the file storage of the Peter the Great Bay scientific monitoring system in the premises of POI FEB RAS and become available to the Institute's scientific specialists. The data of the laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations, are presented in the storage by one-hour files with records of hydrospheric pressure variations digitized at a frequency of 1000 Hz. The fluorimeter data are presented by daily files of signals of changes in the specific content in chlorophyll-a water, with the sampling frequency is 1 Hz. These video surveillance systems are represented by snapshots and small video recordings of the underwater scene, reproduced with time intervals of 1 and 30 minutes, respectively. Underwater video surveillance system is used: for visual control of the situation at the location of the first two devices; for the registration and accumulation of a database of video materials for the purpose of their subsequent analysis by expert biologists and submission to all interested persons, including scientists, teachers and students; for the development and debugging of techniques for automatic description of the state of biodiversity based on video analysis; for the development and debugging of techniques for recording the hydrological characteristics of the medium (disturbances, sea level fluctuations, currents, turbidity and water color).

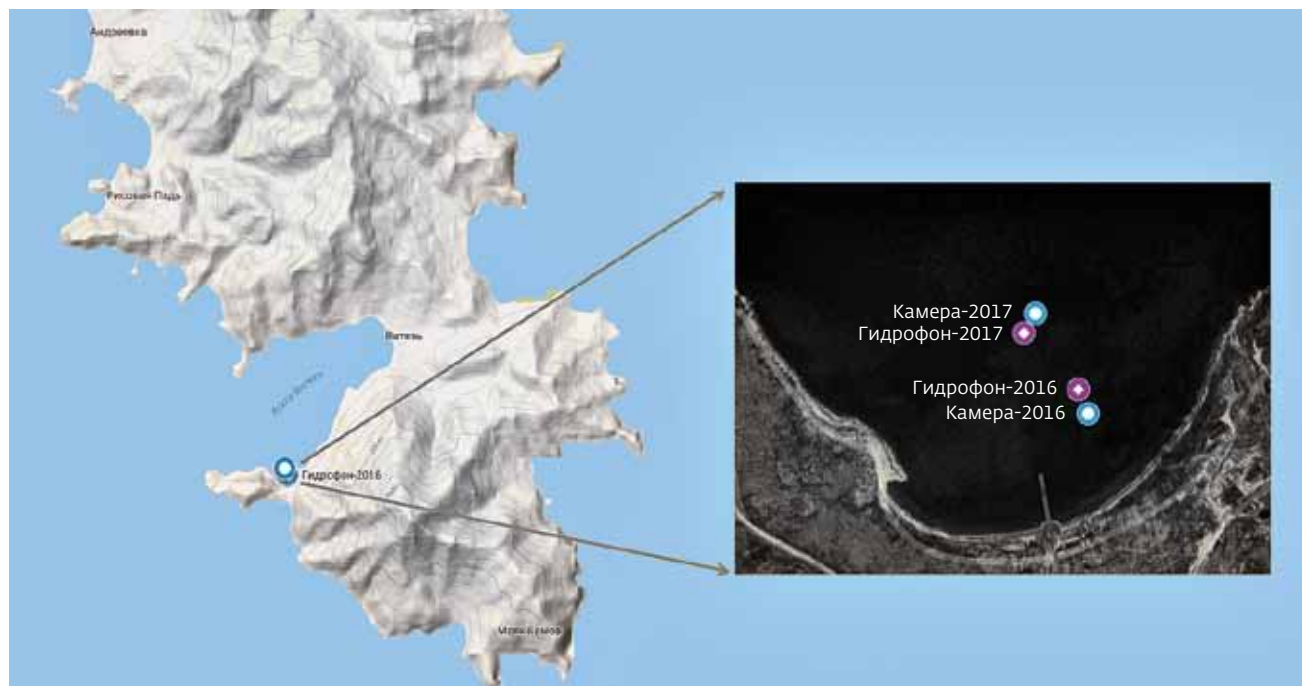


Рис.2. Расположение приборов комплекса во время постановок 2016 и 2017 годов
Fig. 2. Location of the equipment of the complex during the 2016 and 2017 settings

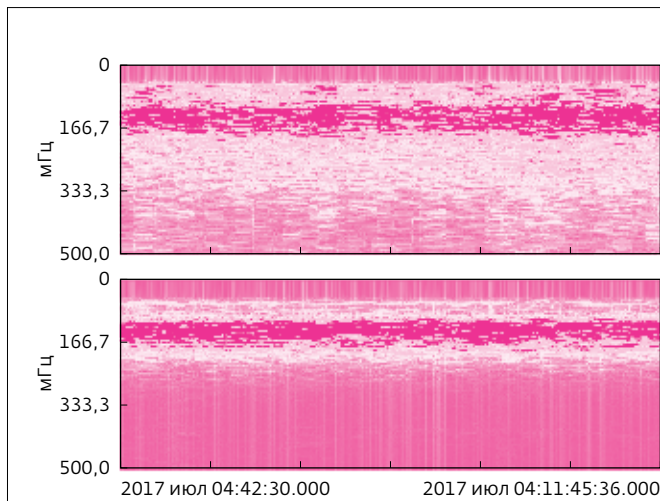


Рис.3. Динамические спектрограммы синхронных участков записей флуориметра (верхний) и лазерного измерителя вариаций гидросферного давления (нижний)
Fig. 3. Dynamic spectrograms of synchronous portions of records of fluorimeter (top) and laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations (bottom)

вых приборов; для регистрации и накопления базы видеоматериалов с целью последующего их анализа экспертами-биологами и предоставления всем

PROCESSING AND ANALYSIS OF FIRST EXPERIMENTAL DATA

For a primary analysis of the experimental data obtained, a series of about one month was chosen. The main purpose of this processing is to study the capabilities of the complex to use it to study the possible dependence of the dynamics of marine biomass on the variations of the world's mid-scale fields in the frequency range corresponding to oscillation periods from diurnal to 1s. Furthermore, the synchronous data of the laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations, and the fluorimeter were processed. The data of underwater video monitoring at the first stage were analyzed only qualitatively.

The processing and analysis of the obtained experimental data will be carried out in a sequence from the highest-frequency components to low-frequency components. Given that the sampling frequency of the analyzed series was 1 Hz, the highest frequency of the series under analysis, according to the Nyquist theorem, is 0.5 Hz (period $T=2$ s). Thus, high-frequency range "rests" in sea wind waves, the main periods of which are in the range from 2-3 s (local wind waves) to 15-16 s (powerful wind waves caused by prolonged action

заинтересованным лицам, включая ученых, преподавателей и студентов; для разработки и отладки методик автоматического описания состояния биоразнообразия на основе анализа видео; для разработки и отладки методик регистрации гидрологических характеристик среды (волнений, колебаний уровня моря, течений, мутности и цвета воды).

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ПЕРВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для первичного анализа полученных экспериментальных данных был выбран ряд длительностью около одного месяца. Основная цель данной обработки – изучение возможностей комплекса по его использованию для исследования возможной зависимости динамики морской биомассы от вариаций среднemasштабных полей Мирового океана в частотном диапазоне, соответствующем периодам колебаний от суточных до одной секунды. При этом были обработаны синхронные данные лазерного измерителя вариаций гидросферного давления и флуориметра. Данные подводного видео мониторинга на первом этапе анализировались только качественно.

Обработка и анализ полученных экспериментальных данных будет проводиться в последовательности от самых высокочастотных составляющих до низкочастотных составляющих. Учитывая, что частота дискретизации анализируемого ряда составляла 1 Гц, то наивысшая частота анализируемого ряда, в соответствии с теоремой Найквиста, равна 0,5 Гц (период $T=2c$). Т.е. высокочастотный диапазон "упирается" в морские ветровые волны, основные периоды которых находятся в диапазоне от 2–3 с (местные ветровые волны) до 15–16 с (мощные ветровые волны, вызванные продолжительным действием тайфунов над акваторией Японского моря со скоростью ветра порядка 25–30 м/с). При обработке полученных экспериментальных данных установлено, что концентрация первичной биомассы на конкретном горизонте коррелирует с вариациями гидросферного давления, вызванными присутствующими морскими волнами. Так на верхнем графике рис.3 приведена динамическая спектрограмма участка записи флуориметра, а на нижнем графике рис.3 приведена динамическая спектрограмма синхронного участка записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления. Основной период выделенных колебаний примерно равен 7,3 с.

Основные колебания более низкочастотного диапазона, выделенные при проведении более ранних исследовательских работ в бухте Витязь, соот-

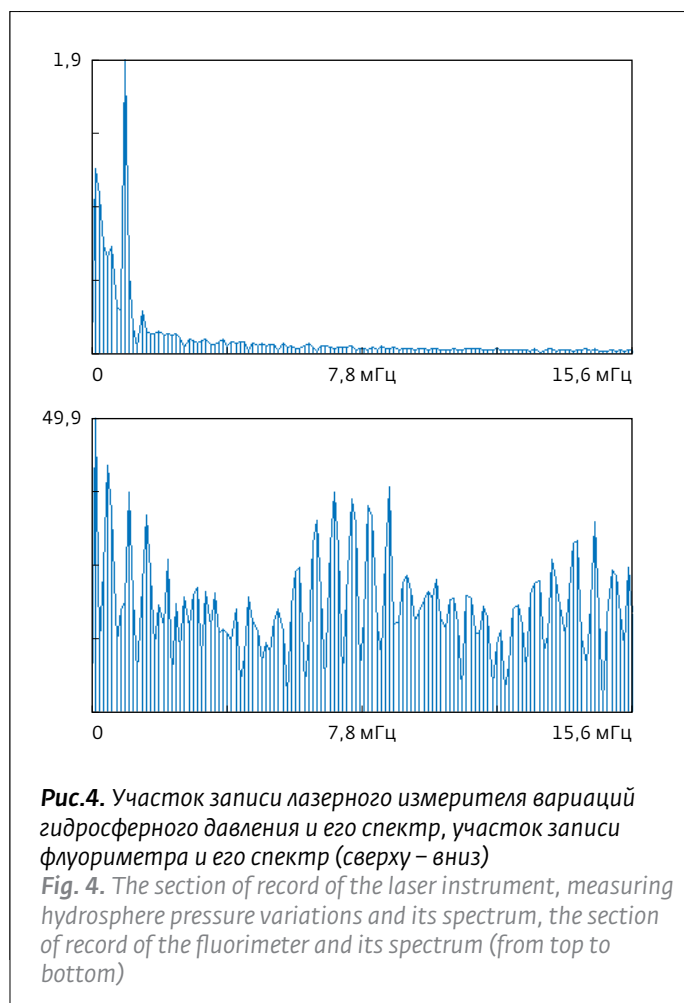


Рис.4. Участок записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления и его спектр, участок записи флуориметра и его спектр (сверху – вниз)

Fig. 4. The section of record of the laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations and its spectrum, the section of record of the fluorimeter and its spectrum (from top to bottom)

of typhoons over the water of the Sea of Japan with a wind speed of around 25–30 m/s). When processing the obtained experimental data, it was established that the concentration of primary biomass at a particular horizon correlates with the hydrospheric pressure variations caused by the present sea waves. Thus, the top graph of Fig. 3 shows the dynamic spectrogram of the recording area of the fluorimeter, and the bottom graph of Fig. 3 shows the dynamic spectrogram of a synchronous recording section of a laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations. The main period of the allocated oscillations is approximately 7.3 s.

The main oscillations of the lower frequency range, which were allocated during earlier research work in the Vityaz Bay, correspond to the seiches, i. e. own vibrations, of the Vityaz Bay, where the period of the main mode varies with time in the frequency range corresponding to the periods from 16 to 18 minutes [7]. When processing the experimental data of a fluorimeter and a laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations, it is



ветствуют сейшам, т.е. собственным колебаниям бухты Витязь, период основной моды которых меняется со временем в частотном диапазоне, соответствующем периодам от 16 до 18 мин [7]. При обработке полученных экспериментальных данных флуориметра и лазерного измерителя вариаций гидросферного давления установлено, что данные колебания не влияют на динамику фитопланктона. Так на рис.4 приведены спектры синхронных участков записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления, на котором выделяется мощный пик на периоде $T=17$ мин 04 с, соответствующий основной моде собственных колебаний бухты Витязь, и флуориметра, на котором данного пика не наблюдается. Необходимо заметить, что собственные колебания по аналогии можно отнести к стоячим волнам, давление в которых с глубиной в один и тот же момент времени не меняется.

В приливном диапазоне как в записях флуориметра, так и в записях лазерного измерителя вариаций гидросферного давления выделяются мощные пики, соответствующие суточному и полусуточному приливам (рис.5). В спектре флуориметра выделяется гармоника суточного прилива с периодом около 8 ч, а в спектре лазерного измерителя вариаций гидросферного давления выделяется мощный

established that these fluctuations do not affect the dynamics of phytoplankton. Thus, Fig. 4 shows the spectra of synchronous recording sections of the laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations, where a powerful peak is isolated at a period of 17 minutes 04 s, corresponding to the fundamental mode of natural vibrations of the Vityaz Bay, and that of the fluorimeter where this peak is not observed. It should be noted that the natural oscillations by analogy can be attributed to standing waves, where the pressure does not change with depth at the same time.

In the tidal range, both in the fluorimeter records and in the records of the laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations, powerful peaks corresponding to the daily and semidiurnal tides are isolated (Fig. 5). In the spectrum of the fluorimeter, a diurnal tidal harmonic with a period of about 8 hours is isolated, and a powerful peak between the diurnal and semidiurnal tides in a period of 18 hours 34.5 minutes is isolated in the spectrum of the laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations, which is apparently associated with the inertial oscillations of the water masses on given latitude.

пик между суточным и полусуточным приливами на периоде 18 ч 34,5 мин, связанный, по-видимому, с инерционными колебаниями водных масс на данной широте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При испытании созданного оптико-биологического комплекса установлено, что динамика концентрации фитопланктона на определенной глубине зависит от вариаций гидросферного давления. По-видимому, фитопланктон, отслеживая изменение гидросферного давления и перемещаясь по вертикали, находится на горизонтах с постоянным гидросферным давлением. Данная зависимость прослеживается в диапазоне поверхностных морских волн и приливов, которые на определенных горизонтах вызывают вариации гидросферного давления с амплитудой, пропорционально связанной с амплитудой волны. В стоячих морских волнах, например в сейшах, давление с глубиной не меняется. Это приводит к тому, что динамика фитопланктона на конкретных горизонтах не связана со стоячими морскими волнами.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФ (соглашение № 14-50-00034, обработка и анализ полученных экспериментальных данных) и программы "Дальний Восток".

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалев С.Н., Швеце В.А., Чупин В.А., Яковенко С.В. Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы. – Приборы и техника эксперимента, 2005, № 6, с. 137–138.
2. Dolgikh G., Dolgikh S., Kovalyov S., Chupin V., Shvets V., Yakovenko S. Super-low-frequency laser instrument for measuring hydrosphere pressure variations. – Journal of Marine Science and Technology, 2009, v.14, № 4, p.480–488.
3. Долгих Г.И., Плотников А.А., Будрин С.С. Мобильный лазерный измеритель вариаций давления гидросферы. – Приборы и техника эксперимента, 2011, № 4, с. 161–162.
4. Алексеев А.В., Валентин Д.И., Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалёв С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В., Холодкевич Е.Д., Швеце В.А., Яковенко С.В. Регистрация инфравивационных волн на границе гидросфера-литосфера береговым лазерным деформографом. – Доклады Академии наук, 2003, т. 389, № 2, с. 244–246.
5. Долгих Г.И., Чупин В.А. Экспериментальная оценка преобразования гидроакустического излучения в сейсмоакустическую волну. – Акустический журнал, 2005, т. 51, № 5, с. 628–632.
6. Давыдов А.В., Долгих Г.И., Кабанов Н.Ф. Применение лазерных деформографов в гидроакустике. – Акустический журнал, 1995, т. 41, № 2, с. 235–239.
7. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Смирнов С.В., Чупин В.А., Швеце В.А., Яковенко С.В. Инфразвуковые колебания Японского моря. – ДАН, 2011, т. 441, № 1, с. 98–102.

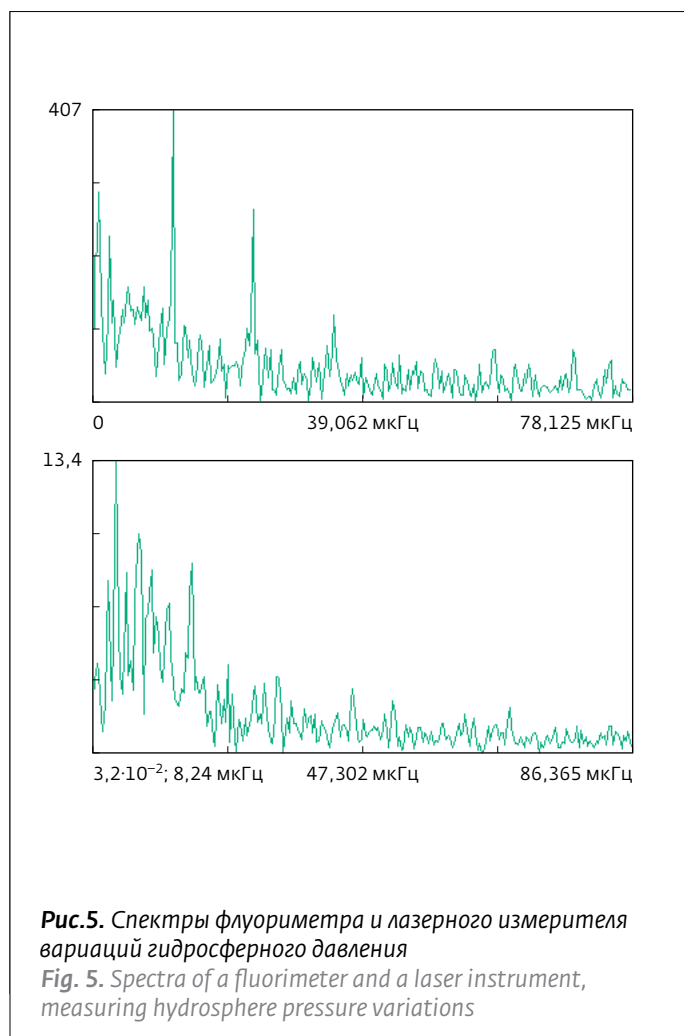


Рис.5. Спектры флуориметра и лазерного измерителя вариаций гидросферного давления
Fig. 5. Spectra of a fluorimeter and a laser instrument, measuring hydrosphere pressure variations

CONCLUSIONS

When the created optical and biological complex was tested, it was established that the dynamics of phytoplankton concentration at a certain depth depends on hydrospheric pressure variations. Apparently, the phytoplankton tracing the change in hydrosphere pressure and moving vertically is on horizons with constant hydrosphere pressure. This dependence is traced in the range of surface sea waves and tides, which at certain horizons cause variations in hydrosphere pressure with an amplitude proportional to the amplitude of the wave. In standing sea waves, i.e., in seiches, the pressure with depth does not change. This leads to the fact that the dynamics of phytoplankton on specific horizons is not associated with standing sea waves.

The work was partially supported by the RSF (agreement No. 14-50-00034, processing and analysis of experimental data) and the Far East program.