

## Экологическая оценка состояния водоемов различного типа бассейна залива Шарапов Шар по концентрации хлорофилла «а» (Средний Ямал)

М.И. Ярушина<sup>1</sup> ✉, В.Ф. Мухутдинов<sup>2</sup>, А.Н. Степанов<sup>1</sup> 

✉ nvl@ipae.uran.ru

<sup>1</sup>Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, г. Екатеринбург, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** В условиях интенсивного освоения и эксплуатации месторождений углеводородов важной задачей является минимизация негативных воздействий на водные экосистемы. В статье представлены результаты исследований фитопланктона и содержания хлорофилла «а» в водоемах различного типа на территории Крузенштернского газоконденсатного месторождения, расположенного на западном побережье Среднего Ямала. **Методы.** Измерен ряд физических и гидрохимических показателей воды. Идентифицирован видовой состав фитопланктона с использованием отечественных и зарубежных определителей. Содержание хлорофилла «а» определено классическим методом. Проведена оценка физиологического состояния фитопланктона по соотношению желтых и зеленых пигментов (пигментное отношение). **Результаты.** Получены первые фоновые материалы по составу, развитию и структурным характеристикам сообществ водорослей водных объектов территории месторождения и залива Шарапов Шар. Установлена значимая положительная корреляция между биомассой фитопланктона и концентрацией хлорофилла «а» альгоценозов залива. На основе анализа полученных величин содержания хлорофилла «а» определен трофический статус и качество вод исследованных водотоков и водоемов. Материалы исследований могут служить отправной точкой экологического мониторинга состояния водных объектов при обустройстве и эксплуатации месторождений углеводородов на Ямале.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** п-ов Ямал, залив Шарапов Шар, фитопланктон, биомасса, хлорофилл «а», пигментное отношение, трофический статус.

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИЭРиЖ УрО РАН по теме «Состояние и динамика биоресурсов животного мира Уральского региона, разработка научных основ его мониторинга и охраны» № 122021000084-4.

**Для цитирования:** Ярушина М.И., Мухутдинов В.Ф., Степанов А.Н. Экологическая оценка состояния водоемов различного типа бассейна залива Шарапов Шар по концентрации хлорофилла «а» (Средний Ямал) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 1. С. 71–88. DOI: 10.35567/19994508-2024-1-71-88.

Дата поступления 12.09.2023.

## ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE DIFFERENT TYPES WATER BODIES OF THE SHARAPOV SHAR BAY BASIN IN TERMS OF THE CHLOROPHYLL “a” CONCENTRATION (THE MIDDLE YAMAL)

Margarita I. Yarushina<sup>1</sup> ✉, Valery F. Mukhutdinov<sup>2</sup>, Leonid N. Stepanov<sup>1</sup> 

✉ nvl@ipae.uran.ru

<sup>1</sup> Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Ekaterinburg, Russia

### ABSTRACT

**Relevance.** Under the conditions of intense development and use of the hydrocarbon fields, the minimization of negative consequences for aquatic ecosystems has become the most important issue. The article presents results of the studies of phytoplankton and the chlorophyll “a” content in the different types of water bodies on the territory of the Kruzenstern gas-condensate field located at the Middle Yamal western bank. **Methods.** We have assessed the phytoplankton physiological state in terms of yellow and green pigments proportion (pigment proportion). **Results.** We have obtained the first background materials concerning composition, development and structural characteristics of the water bodies’ algae communities on the territory of the field and the Sharapov Shar Bay. We have stated significant positive correlation between the bay algaecocenos phytoplankton biomass and the chlorophyll “a” concentration. The trophic status and water quality of the studied water bodies and watercourses have been determined based on the analysis of the obtained values of the chlorophyll “a” content. The materials of the studies can serve the starting point for ecological monitoring of the water bodies status during the hydrocarbon fields construction and operation on the Yamal.

**Keywords:** Yamal Peninsula, Sharapov Shar Bay, phytoplankton, abundance, biomass, chlorophyll “a”, pigment proportion, trophic status.

**Financing:** The work has been done within the framework of the state assignment of the IEPaA of Russian Academy of Sciences Ural Branch according the title “The Ural Region fauna bio/resources status and dynamics; development of scientific basis of its monitoring and protection” No. 122021000084-4.

**For citation:** Yarushina M.I., Mukhutdinov V.F., Stepanov L.N. Ecological assessment of the different types water bodies of the Sharapov Shar Bay basin in terms of the chlorophyll “a” concentration (the Middle Yamal). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2024. No. 1. C. 71–88. DOI: 10.35567/19994508-2024-1-71-88.

Received 12.09.2023.

### ВВЕДЕНИЕ

Ямал – один из важнейших стратегических нефтяных и газоносных районов России. В связи с усилением антропогенного воздействия на водные объекты в условиях интенсивного освоения месторождений углеводородов возрастает актуальность комплексной оценки их экологического состояния. Важной задачей в ходе освоения и эксплуатации месторождений является минимизация негативных воздействий на водные экосистемы.

В функционировании водных экосистем большую роль играет фитопланктон – первичное звено потоков энергии, продуцент автохтонного органического вещества, важный фактор самоочищения и фотосинтетической аэрации воды. Изменения структуры альгоценозов определяют количество доступных ресурсов для более высоких трофических уровней. Фитопланктон широко ис-

пользуется для биоиндикации экологического состояния водоемов и соответствует основным требованиям, предъявляемым к биоиндикаторам – отличается высоким таксономическим разнообразием, широко распространен в водных объектах разного типа [1]. Структурные и функциональные показатели планктонных водорослей тесно связаны с экологическими факторами и широко используются при проведении экологической экспертизы состояния водных объектов и оценки воздействия на них антропогенных факторов [2, 3].

Основным пигментом, обеспечивающим фотосинтез, является хлорофилл «а» (далее – Хл «а»). Его содержание – важнейшая характеристика, по которой определяют приблизительные показатели биомассы фитопланктона [4]. Хл «а» считается универсальным эколого-физиологическим маркером степени развития и фотосинтетической активности водорослей, уровень его содержания положен в основу шкал, разработанных для оценки трофического статуса водоемов, качества воды и включен в систему мониторинговых наблюдений [5–12]. Содержание пигмента тесно связано со степенью развития фитопланктона, его пространственным распределением, сезонными и многолетними изменениями, а также зависит от влияния гидрологических, гидрохимических и антропогенных факторов.

Сезонные изменения содержания Хл «а» повторяют динамику биомассы фитопланктона и определяются особенностями гидрометеорологических условий. Динамика концентраций Хл «а» меняется в водах разной трофии [13, 14], характеризуется весенним и осенним подъемами в мезотрофных водоемах и продолжительным летним максимумом в эвтрофных.

Спутниковое сканирование и дистанционное лазерное зондирование верхних горизонтов поверхности Карского моря в последнее время является одним из основных методов наблюдения за изменчивостью биогеохимических показателей [15–18 и др.]. Одновременно получены данные для материковых озерных систем п-ва Ямал. Однако интерпретация и использование данных с помощью сканеров нуждаются в совершенствовании. Для уточнения спутниковой информации разрабатываются и применяются адаптационные программы расчетов на основе натурных измерений.

Данные по концентрации Хл «а», определенного классическим методом, для водоемов и водотоков Ямала, а также для залива Шарапов Шар в литературе отсутствуют, несмотря на то что фитопланктон изучался продолжительное время [19–22 и др.]. Имеется богатая информация по содержанию зеленого пигмента для внешнего периметра полуострова, полученная в ходе многочисленных экспедиций в Байдарацкой губе, у северной оконечности полуострова, а также в Обской и Тазовской губах [15, 17, 18, 23–27 и др.].

Литературные данные о развитии альгоценозов в приливно-отливных зонах рек Ямала, отличающихся особыми условиями, крайне ограничены [28, 29]. Фитопланктон залива Шарапов Шар не исследован. Данные по содержанию Хл «а» отсутствуют.

Цель работы – оценить физиологическое состояние альгоценозов водных объектов западного побережья п-ва Ямал и акватории залива Шарапов Шар

по содержанию хлорофилла «а», определить их трофический статус и качество вод водоемов различного типа.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Характеристика района исследований

Исследования проводили на водных объектах Крузенштернского газоконденсатного месторождения (ГКМ), расположенного в западной части Среднего Ямала. Территория включает акваторию залива Шарапов Шар и низовья рек Мордыяха и Надуйяха. Своеобразие водной экосистемы залива – взаимное влияние приливно-отливных течений, приносящих морскую воду через проливы между островами Шараповы Кошки и сезонной динамики пресного материкового стока. В географическом отношении исследуемый район расположен в арктическом климатическом поясе полярных пустынь и тундр в северо-западной части п-ва Ямал.

Реки Надуйяха и Мордыяха относятся к водным объектам высшей рыбохозяйственной категории: здесь проходят нерест, нагул и зимовка ценных видов сиговых рыб – муксуна, чира, сига-пыжьяна и ряпушки<sup>1</sup>.

Реки имеют сложную дельту и на большом протяжении (60–70 км) подвержены приливно-отливным и стонно-нагонным явлениям. Питание рек и озер – атмосферное, сток поверхностный, коэффициент стока – 0,8. По гидрохимическому составу вода в реках пресная, слабоминерализованная. Максимальные расходы воды наблюдаются в половодье, минимальные – в период зимней межени. Основной фазой водного режима является весеннее половодье, приходящееся на июнь-июль. Летне-осенняя межень характеризуется малой водностью и продолжается до сентября. Ледостав начинается в начале октября и проходит в среднем 250 дней<sup>2</sup>. Сток воды зимой практически равен нулю из-за промерзания перекаатов и прекращения грунтового стока. В протоках дельты полного перемерзания русла и заморных явлений не наблюдается.

Большинство озер относятся к термокарстовым. Они, как правило, невелики по площади и глубине. Химический состав речных и озерных вод существенных отличий не имеет [30]. Особенность территории – низкая минерализация вод. По ионному составу воды соответствуют гидрокарбонатным кальциево-натриевой группы.

Залив Шарапов Шар – мелководный: глубина не превышает 7 м в центральной части, на большей части акватории составляет менее 3 м, лишь в крайней южной части глубины увеличиваются<sup>3</sup> [31]. Мелководные участки (1–1,5 м) вдоль побережья Ямала промерзают до дна. Воды залива характеризуются как солоноватые – от 12 до 22 ‰. Минимальные величины отмечены в устьевых участках рек. После вскрытия рек паводковые воды, образующиеся в основ-

<sup>1</sup> Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. ГОСТ 17.1.2.04-77. М.: Изд-во стандартов, 1987. 17 с.

<sup>2</sup> Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа / гл. ред. С.И. Ларин. Омск: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004. 303 с.

<sup>3</sup> Природные условия Байдарацкой губы. Основные результаты исследований для строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов Ямал-Центр. М.: ГЕОС, 1997. 432 с.

ном за счет таяния снега, увеличивают речной сток и способствуют опреснению вод залива. Пресноводный сток порождает устойчивые квазистационарные потоки воды вдоль побережья [31]. В центре залива в зимний период образуется зона повышенной солености, обусловленная значительным снижением притока пресных вод.

Материал собран в ходе экспедиции Института экологии растений и животных УРО РАН в первой декаде августа 2013 г. Обследованы водоемы различного типа в бассейнах нижнего течения рек Мордыяха и Надуяха, а также мелководный залив Шарапов Шар – вдоль западного побережья п-ва Ямал, от губы Крузенштерна до пр. Мутный Шар. Всего отобрано 56 проб фитопланктона и 48 проб для определения хлорофилла. Схема расположения точек сбора представлена на рисунке.

Пробы фитопланктона отбирали батометром Рутнера, фиксировали 4 % раствором формальдегида. Количественный анализ проводили в камере Нажотта объемом 0,01 мл (микроскоп Standart). Биомассу рассчитывали счетно-объемным методом<sup>4</sup> [32]. Для идентификации видового состава использовали отечественные и зарубежные определители.

Пробы отбирали с поверхностного горизонта (глубина 20–30 см) на морских станциях, дополнительно – с придонного горизонта. Одновременно определяли координаты станции, измеряли глубину, прозрачность, температуру, водородный показатель и концентрацию растворенного кислорода (табл. 1).

Содержание Хл «а» определяли стандартным методом [33, 34] на спектрофотометре «Spekol ZV». Для фильтрации использовали мембранные фильтры «Владипор» МФА-МА № 10 с размером пор 0,95–1,0 мкм. В лаборатории фильтры растирали в стеклянном гомогенизаторе в течение трех минут с добавлением 90 % раствора ацетона. Концентрацию хлорофилла «а» (Схл, мкг/л) рассчитывали по формуле<sup>1</sup>:

$$C_{\text{Хл}} = (11,85 \times (E_{664} - E_{750}) - 1,54 \times (E_{647} - E_{750}) - 0,08 \times (E_{630} - E_{750})) \times V_1 / l \times V_2,$$

где  $E$  – оптическая плотность экстракта при соответствующей длине волны;

$V_1$  – объем экстракта, мл;

$l$  – длина кюветы, см;

$V_2$  – объем пробы, л.

Физиологическое состояние фитопланктона оценивали по соотношению желтых и зеленых пигментов (пигментное отношение – ПО, выраженное через отношение оптической плотности ацетонового экстракта в соответствующих максимумах поглощения  $E_{480}/E_{664}$ ): ПО равно 1, или близкое к этому значению, характеризует состояние фитопланктона как вполне благополучное, ПО > 1 – альгоценозы находятся в угнетенном состоянии [6, 13, 14]. Оценка трофического статуса и качества вод исследованных водоемов разного типа проводилась согласно С.Е. Сиротскому [12].

Полученные данные по содержанию Хл «а» группировали по биотопам: речные – ст. 1, 2, 4, 5, 6, 7; озер – ст. 3; морские – ст. 8– 18, 22–31 (табл. 2). Статистическая обработка материала проводилась с помощью программы Statistica 8.0.

<sup>4</sup>Водоросли: справочник. Киев: Наукова думка, 1989. 608 с.

**Таблица 1.** Характеристика водных объектов на станциях отбора гидробиологических проб

Table 1. Characteristics of water bodies at hydrobiological sampling stations

№	Станции	Координаты		Глубина, м	Прозрачность, м	Температура, °С	pH	O <sub>2</sub> (ppm)
		с. ш.	в. д.					
1	р. Юнетаяха	70°39'17,5"	67°22'48,3"	1,0	до дна	–	6,6	9,50
2	пр. р. Юнетаяха	70°39'43,3"	67°18'33,2"	0,5	до дна	11,0	–	–
3	Озеро б/н № 1	70°41'05,3"	67°22'51'0"	1,1	до дна	13,0	6,9	9,0
4	р. Надуйяха	70°42'53,5"	67°25'45,2"	1,0	до дна	–	–	–
5	пр. Хойнтылнаюн	70°45'31,7"	67°27'05,3"	1,0	до дна	–	–	–
6	р. Монготояха	70°48'41,0"	67°26'06,5"	1,0	до дна	–	–	–
7	р.Юнетаяха,устье	70°37'31,2"	67°17'28,7"	1,2	до дна	11,0	–	–
8	Залив	70°39'35,0"	67°11'50,2"	1,3	0,35	–	6,8	–
9	Залив	70°40'26,6"	67°10'37,8"	2,7	0,35	–	6,8	–
10	Залив	70°39'52,1"	67°14'54,3"	1,8	–	–	6,8	–
11	Залив	70°44'42,8"	67°13'43,8"	2,5	2,05	11,0	6,8	–
12	Залив	70°44'48,2"	67°15'59,1"	0,5	0,50	11,0	6,8	–
13	Залив	70°44'50,4"	67°18'11,7"	1,7	1,30	–	6,8	–
14	Залив	70°44'43,0"	067°19'57,0"	0,8	до дна	–	6,8	–
15	Залив	70°43'16,6"	67°15'22,4"	2,5	1,10	–	6,8	–
16	Залив	70°42'26,1"	67°17'19,4"	1,2	0,60	11,0	6,8	–
17	Залив	70°40'51,2"	67°16'10,5"	1,5	0,50	11,0	–	–
18	Залив	70°40'38,6"	67°14'09,5"	2,5	0,90	11,0	6,8	–
19	р. Нюдя-Монгояха	70°33'27,6"	67°22'21,5"	0,5	до дна	12,0	–	–
20	оз. Ямто	70°32'13,6"	67°20'43,5"	1,0	до дна	12,0	–	–
21	р. Мордыяха	70°27'00,4"	67°20'16,2"	2,5	0,45	12,0	–	–
22	Залив	70°28'02,1"	67°13'59,3"	1,5	0,55	12,0	6,5	9,96
23	Залив	70°27'31,9"	67°11'51,6"	2,5	0,75	14,2	6,8	9,76
24	Залив	70°27'08,0"	67°09'39,7"	2,5	0,90	14,0	6,8	10,06
25	Залив	70°29'43,2"	67°07'17,7"	2,9	0,90	14,0	6,9	10,18
26	Залив	70°30'06,1"	67°10'21,7"	2,7	0,60	14,4	6,8	9,85
27	Залив	70°30'27,5"	67°11'33,3"	1,5	0,30	15,1	7,0	9,45
28	Залив	70°32'38,5"	67°12'55,4"	2,5	0,40	14,4	6,8	9,90
29	Залив	70°32'50,3"	67°14'28,1"	1,9	0,35	14,5	6,8	9,84
30	Залив	70°32'36,2"	67°10'32,9"	2,8	0,60	12,3	6,8	11,35
31	Залив	70°29'20,0"	67°16'58,8"	0,6	< 0,30	–	–	–
32	Озеро б/н № 2	70°29'20,0"	67°16'58,8"	1,0	0,5	–	–	–
33	Пр. Ямтосё	70°29'11,3	67°18'31,9"	2,5	до дна	–	–	–





1. р. Юнетаяха
2. р. Юнетаяха, протока
3. Озеро безымянное
4. р. Надуйяха
5. Протока Хойнтылнаюн
6. р. Монготаяха
7. р. Юнетаяха, устье
8. Залив Шарапов Шар
9. Залив Шарапов Шар
10. Залив Шарапов Шар
11. Залив Шарапов Шар
12. Залив Шарапов Шар
13. Залив Шарапов Шар
14. Залив Шарапов Шар
15. Залив Шарапов Шар
16. Залив Шарапов Шар
17. Залив Шарапов Шар
18. Залив Шарапов Шар
19. р. Нюдя-Монгояха
20. оз. Ямто
21. р. Мордыяха
22. Залив Шарапов Шар
23. Залив Шарапов Шар
24. Залив Шарапов Шар
25. Залив Шарапов Шар
26. Залив Шарапов Шар
27. Залив Шарапов Шар
28. Залив Шарапов Шар
29. Залив Шарапов Шар
30. Залив Шарапов Шар
31. Залив Шарапов Шар
32. Озеро безымянное
33. Протока Ямтосё

**Рисунок.** Картограмма района исследований.  
Fig. Schematic map of the study area.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Гидрохимические исследования

Гидрохимические и гидрологические показатели приведены в табл. 1. Температура воды изменялась незначительно: в реках и протоках 11,0–12,0 °С, в озерах 12,0–13,0 °С, в заливе 11,0–15,1 °С. Водородный показатель варьировал от 6,5 до 7,0, что соответствует уровню региональных фоновых значений – от 6,3 до 7,7 [30, 35]. Содержание растворенного кислорода не выходило за рамки предельно допустимых концентраций для рыбохозяйственных водоемов<sup>1</sup>.

Прозрачность воды в разных частях залива варьировала в пределах 0,3–2,0 м, средняя величина составила 0,6 м. Минимальные значения отмечены в зоне малых глубин и в прибрежье, что объясняется повышенным содержанием взвешенных веществ в результате перемешивания толщи воды под воздействием сильных ветров и приливно-отливных явлений.

**Таблица 2.** Концентрация хлорофилла «а» и пигментное отношение в водотоках, водоемах и заливе Шарапов Шар, мкг/л

Table 2. Chlorophyll «a» concentration and pigment ratio in streams, reservoirs, and Sharapov Shar Bay,  $\mu\text{g/L} \pm 10\%$

№	Станции	Содержание Хл «а»			Пигментное отношение		
		поверхность	дно	среднее	поверхность	дно	среднее
1	р. Юнетаяха	1,0	2,0	1,5	4,2	2,0	3,1
2	пр. р. Юнетаяха	1,8	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6
4	р. Надуйяха	4,1	4,1	4,1	2,1	2,1	2,1
5	пр. Хойнтылнаюн	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,5
6	р. Монготояха	8,7	8,7	8,7	1,6	1,6	1,6
7	р. Юнетаяха, устье	3,6	6,4	5,0	2,2	2,5	2,4
3	Озеро б/н № 1	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
8	Залив Шарапов Шар	4,8	2,4	3,6	2,7	2,2	2,5
9	Залив Шарапов Шар	1,2	1,8	1,5	2,7	2,2	2,5
10	Залив Шарапов Шар	4,7	5,1	4,9	3,0	1,8	2,4
11	Залив Шарапов Шар	0,6	0,8	0,7	2,0	3,0	2,5
12	Залив Шарапов Шар	1,5	1,4	1,5	2,0	2,7	2,4
13	Залив Шарапов Шар	2,2	2,1	2,2	3,8	3,1	3,5
14	Залив Шарапов Шар	0,1	1,5	0,8	4,0	4,0	4,0
15	Залив Шарапов Шар	1,5	1,5	1,5	1,0	0,6	0,8
16	Залив Шарапов Шар	2,1	0,8	1,5	3,0	2,0	2,5
17	Залив Шарапов Шар	2,1	2,1	2,1	0,6	0,7	0,7
18	Залив Шарапов Шар	2,1	2,1	2,1	3,0	2,2	2,6
22	Залив Шарапов Шар	3,1	3,7	3,4	2,6	1,4	2,0
23	Залив Шарапов Шар	2,7	3,2	3,0	1,0	1,0	1,0
24	Залив Шарапов Шар	1,5	1,8	1,7	2,5	0,5	1,5
25	Залив Шарапов Шар	1,9	2,1	2,0	2,2	0,8	1,5
26	Залив Шарапов Шар	1,6	2,4	2,0	0,8	0,6	0,7
27	Залив Шарапов Шар	6,0	8,0	7,0	1,0	1,8	1,4
28	Залив Шарапов Шар	3,5	3,9	3,7	1,7	1,7	1,7
29	Залив Шарапов Шар	2,8	3,5	3,2	0,8	0,3	0,6
30	Залив Шарапов Шар	1,7	1,7	1,7	1,0	0,3	0,6
31	Залив Шарапов Шар	12,0	12,0	12,0	1,0	1,0	1,0



### Фитопланктон

Видовой состав фитопланктона озер достаточно богат. Определено 74 видовых и внутривидовых таксона, относящихся к шести отделам [28]. Наиболее разнообразно представлены диатомовые и зеленые хлорококковые водоросли. Численность и биомасса фитопланктона варьировали в широких пределах – от 1868 до 7489 тыс. кл/л и от 0,06 до 5,160 мг/л соответственно. В составе альгоценозов, как правило, доминировали синезеленые: 70–84 % общей численности и 79–95 % суммарной биомассы соответственно.

В реках установлено 152 видовых и внутривидовых таксона, в протоках – 56. По числу видов преобладали диатомовые и зеленые хлорококковые водоросли. Отмечены солоноватоводные виды рода *Nitzschia* и *Gyrosigma scalproides* (Rabenhorst) Cleve. Численность водорослей в реках изменялась от 3012 до 6616 тыс. кл/л, биомасса – от 0,056 до 0,478 мг/л, в протоках – от 844 до 3970 тыс. кл/л и от 0,208 до 0,334 мг/л соответственно. Структуру альгоценозов практически во всех водотоках определяли мелкоклеточные зеленые и синезеленые водоросли. Основу численности составляли синезеленые – 52,7–87,0 % от суммарной. Диатомовые создавали в среднем 17–20 % (до 40 %) общей биомассы фитопланктона.

В целом в составе водорослей обследованных рек, проток и озер установлено 213 видов, разновидностей и форм из восьми отделов. Видовое разнообразие определяли диатомовые (49,8 %), зеленые (26,3 %) и синезеленые (12,7 %) водоросли. В составе фитопланктона отмечен высокий процент маловидовых родов, что является характерной особенностью альгофлоры северных широт [36–38]. Синезеленые, зеленые и золотистые водоросли представлены, в основном, планктонными пресноводными видами. Среди диатомовых основное ядро составляют обитатели литорали, дна и обрастаний. Видовое разнообразие фитопланктона возрастает в ряду озера → протоки → реки. Уровень количественного развития альгоценозов в озерах выше, чем в реках и протоках. Показатели численности и биомассы сопоставимы с величинами, полученными для других водоемов Ямала [39, 40 и др.].

Изучение водорослей планктона залива Шарпапов Шар проведено впервые. В составе альгофлоры восточной части залива выявлено свыше 120 видовых и внутривидовых таксонов из семи отделов. Наиболее разнообразно представлены диатомовые водоросли – 92 вида, разновидности и формы. Зеленые и синезеленые водоросли насчитывали по 11 таксонов рангом ниже рода. Число представителей остальных отделов не превышало 3–4 видов для каждого. Выявленная флора водорослей носила, в основном, пресноводный характер. Представители морской флоры встречались единично.

Большинство видов широко распространены в водоемах различного типа на Ямале [41, 42 и др.]. Видовой состав фитопланктона на всех станциях был весьма однообразен и состоял из типичных представителей пресноводной и эстуарной флоры, а также форм микрофитобентоса. Синезеленые, зеленые и золотистые водоросли были представлены исключительно планктонными пресноводными видами. Среди диатомовых доминировали представители лито-

рали, дна и обрастаний. Из морских видов на отдельных станциях в небольших количествах отмечены *Nitzschia filiformis* W. Smith., *N. closterium* (Ehrenberg) W. Smith, *Gyrosigma fasciola* (Ehrenberg) Griffith et Henfrey, *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, *Navicula spicula* Hieckie. Анализ биотопической принадлежности групп фитопланктонного сообщества показал, что истинно планктонные водоросли составляли лишь 40 % альгоценоза, включая массовые и часто встречающиеся формы. Уровень развития планктонных водорослей низкий: численность изменялась от 236 до 7759 тыс. кл/л, биомасса – от 0,001 до 0,5 мг/л; средние величины составили 2381 тыс. кл/л и 0,063 мг/л соответственно.

На формирование фитопланктона залива Шарапов Шар большое влияние оказывает сток речных вод. Из пресноводных видов остаются, в основном, толерантные к изменениям солености и температуры воды формы. В целом, для альгоценозов залива характерно доминирование диатомовых микроводорослей. По сравнению с материковыми водоемами видовое разнообразие значительно ниже. Максимальный уровень количественного развития фитопланктона наблюдается в устьевых районах рек Мордыяха и Надуйяха. В морской акватории залива отмечено снижение численности и биомассы. Прослеживается тенденция уменьшения количественных показателей с юга на север, что обусловлено не только уменьшением выноса водорослей из рек, но и существующими течениями [31]. Средние величины численности фитопланктона в заливе Шарапов Шар значительно выше, а показатели биомассы ниже приводимых в литературе данных для разных районов Байдарацкой губы<sup>3,5</sup> [25–27, 43, 48 и др.].

#### **Хлорофилл «а»**

Концентрация Хл «а» в реках и протоках изменялась от 1,0 до 8,7 мкг/л (табл. 2). На высокую вариабельность показателя указывает значение коэффициента вариации ( $C_v = 77\%$ ). Наибольшая продуктивность выявлена у альгоценозов р. Монготаяхи. Существенные различия в содержании Хл «а», очевидно, связаны с разнородностью экологических условий водотоков и их водосборов, обусловленных гидрологическими факторами, а также обеспеченностью биогенными веществами. В районе некоторых станций отбора проб на прилегающих территориях проводился интенсивный выпас оленьих стад. Этот факт, на наш взгляд, объясняет повышенный уровень трофии на локальных участках водотоков.

Пигментное отношение варьировало в пределах 1,5–4,2. Средние величины (1,5–3,1) указывают на ослабленное физиологическое состояние фитопланктона во всех водотоках, что наиболее выражено в р. Юнетаяха (ст. 1). В поверхностном горизонте водоросли находились в более угнетенном состоянии, чем в придонных слоях. При одинаковых метеоусловиях и единой фазе сукцессии причиной такого явления, на наш взгляд, могли быть такие факторы, как гидрологические особенности водотока и недостаток биогенных веществ.

<sup>5</sup> Строительство поисково-оценочной скважины № 2 Скуратовской площади: Оценка воздействия на окружающую среду: Отчет о НИР / исп. И.Е. Каштанова, А.С. Петровский, С.В. Дубовцева [и др.]; ООО «Красноярскгазпром Нефтегазпроект». М., 2020. 314 с. Режим доступа: <https://krasnoyarskgazprom-ngp.gazprom.ru/d/textpage/9b/155/ovos-na-pd-skuratovskaya-2.pdf> (дата обращения 02.08.2023 г.)

Согласно классификации С.Е. Сиротского [12], р. Юнетаяха (ст. 1) с одноименной протокой (ст. 2) и пр. Хойнтылнаюн (ст. 5) соответствовали водоемам олиготрофного типа, реки Надуйяха (ст. 4), Монготаяха (ст. 6) и Юнетаяха (ст. 7) – водоемам мезотрофного типа. Воды первых трех водотоков (см. выше) на основании полученных величин концентрации Хл «а» относятся к 1 классу качества вод и характеризуются как «очень чистые», другие водотоки соответствуют 2 классу – «чистые».

Данные о содержании Хл «а» в водоемах получены только для одного безымянного озера, расположенного в пойме р. Юнетаяхи (ст. 3). Озеро представляет собой небольшой мелководный водоем (площадь 400 м<sup>2</sup>). Концентрация Хл «а» составила 2,4 мкг/л, что позволяет отнести озеро к водоемам олиготрофного типа. Вода соответствовала 1 классу качества – «очень чистая». Величина ПО (2,4) характеризовала физиологическое состояние фитопланктона как угнетенное, что, вероятно, обусловлено конкуренцией за биогенные вещества с макрофитами и макроводорослями.

Данные спутникового зондирования внутренних водоемов Ямала показали, что средние за месяц (сентябрь, 2011 г.) концентрации Хл «а» изменялись в пределах 1,0–1,75 мкг/л [16]. Учитывая сезон и стадию вегетации фитопланктона, эти цифры можно считать близкими к реальности и сопоставимыми с полученными в рамках данного исследования данными.

Содержание хлорофилла «а» в заливе Шарапов Шар варьировало в широких пределах: 0,1–12,0 мкг/л у поверхности и 0,8–8,0 мкг/л в придонных горизонтах (табл. 2). Величина коэффициента вариации превышала 86 %. Отмечена тенденция небольшого увеличения средних концентраций хлорофилла «а» – от 1,8 мкг/л до 4,0 мкг/л в направлении с севера на юг. По мере удаления от берега, как правило, наблюдалось снижение содержания Хл «а», обусловленное, на наш взгляд, снижением поступления биогенных веществ, в отличие от прибрежной зоны, и реакцией водорослей на повышение солености воды [26]. В целом, средние концентрации пигмента, рассчитанные для столба воды в исследованной акватории залива, изменялись в пределах от 0,7 мкг/л (ст. 11) до 12,0 мкг/л (ст. 31).

На многих станциях максимальное содержание хлорофилла отмечено в придонных горизонтах, где водоросли укрываются от динамического воздействия волн. В отдельных случаях высокие концентрации пигмента наблюдались в прибрежной зоне (ст. 31), что связано с увеличением численности водорослей, обусловленным ветро-волновым нагоном и выносом из рек.

Средняя концентрация Хл «а» в заливе Шарапов Шар составила 2,9 мкг/л. Высокое содержание пигмента характерно для мелководных участков морей и устьевых районов рек. На большей части акватории Байдарацкой губы<sup>3,5</sup> средние величины Хл «а» были значительно ниже и изменялись от 0,1 мкг/л до 0,9 мкг/л [25–27 и др.].

Согласно классификации, разработанной для пресноводных водных объектов, трофический статус вод залива можно охарактеризовать как олиготрофный [12]. Однако, поскольку обследованная акватория является частью

морского залива, для характеристики трофического статуса вполне справедливо применить классификацию, разработанную для морских и океанических вод [44, 45]. Средневзвешенное содержание Хл «а» в эвфотическом слое более 1 мкг/л соответствует водоемам эвтрофного типа, от 1,0 до 0,5 мкг/л – мезотрофного типа, менее 0,2 мкг/л – олиготрофного. По этой классификации трофический статус вод залива соответствует высокопродуктивным водоемам эвтрофного типа. Высокие концентрации Хл «а» отмечены в эстуарии р. Оби [26]. Подобные мелководные опресненные участки морей являются зонами высокой первичной продукции, к которым приурочены места нагула многих видов рыб. В то же время по продукционным показателям фитопланктона Карское море относится к низко продуктивным арктическим морям олиготрофного типа [23, 26 и др.].

Для континентальных водных объектов отмечена среднезначимая отрицательная зависимость содержания Хл «а» от биомассы водорослей –  $r = -0,58$ ,  $n = 7$  и  $p < 0,01$ . В заливе Шарапов Шар установлена высокозначимая положительная корреляция между концентрацией Хл «а» и биомассой фитопланктона –  $r = 0,80$ ,  $n = 21$  и  $p < 0,01$ . Прямая (чаще линейная) связь концентрации Хл «а» с биомассой фитопланктона отмечена в работах многих авторов [46–48].

ПО на обследованных станциях варьировало в диапазоне от 0,3 до 4,0 (при среднем значении 1,8). На северных створах, между устьями рек Надуйяха и Юнетаяха, сообщества фитопланктона находились в наиболее угнетенном состоянии (ПО – от 2,3 до 4,0). В южной части залива, между устьями рек Юнетаяха и Мордыяха, альгоценозы развивались в более благоприятных условиях (ПО – от 0,5 до 2,0). На отдельных станциях обнаружены более высокие значения ПО у поверхности, чем в придонных горизонтах. На наш взгляд, это могло быть обусловлено метеоусловиями, когда при волновом перемешивании воды на поверхность поднимается детрит с отмершими клетками водорослей, доля каратиноидов в которых выше активного хлорофилла. В целом, фитопланктон на обследованной акватории залива находится в относительно удовлетворительном состоянии.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные по итогам проведенного исследования данные позволяют оценить степень развития водорослей, их физиологическое состояние и продукционные возможности. Характерной особенностью распределения фитопланктона на акватории залива Шарапов Шар является его концентрация в прибрежных районах. Эта тенденция прослеживается как по распределению биомассы водорослей, так и по концентрации хлорофилла «а». Анализ данных показал среднезначимую отрицательную зависимость содержания Хл «а» от биомассы водорослей для континентальных водных объектов. В заливе установлена высокозначимая положительная корреляция между концентрацией Хл «а» и биомассой фитопланктона. Полученные величины содержания пигмента могут быть использованы для расчета биомассы водорослей в различного типа водных объектах Ямала и в прибрежной акватории полуострова.

Анализ полученных величин концентрации хлорофилла «а» показал, что состояние водных экосистем устьевых участков рек и их проток, впадающих в залив Шарапов Шар, а также небольших озер во время проведения исследований следует оценить, как вполне благополучное.

Согласно классификации, основанной на содержании хлорофилла «а», реки и пойменные водоемы относятся к водоемам мезотрофного типа. Обследованная акватория залива Шарапов Шар соответствует высокопродуктивным водоемам эвтрофного типа. В связи с усилением антропогенной нагрузки в процессе освоения и эксплуатации Крузенштернского ГКМ и выпаса оленьих стад возрастает вероятность увеличения трофности водотоков и водоемов, снижения качества вод.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенченко В.П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. Минск: Орех, 2004. 125 с.
2. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод. Л., 1974. 60 с.
3. Щербак В.И., Семенюк Н.Е., Майстрова Н.В. Адаптація методів оцінки екологічного стану водойм мегаполісів України за фітопланктоном і фіто мікроперифітоном відповідно до Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЄС // Доповіді НАН України. 2009. № 10. С. 206–211.
4. Hill V.J., Matrai P.A., Olson E. et al. Synthesis of integrated primary production in the Arctic Ocean: II. In situ and remotely sensed estimates // *Progress in Oceanography*. 2013. Vol. 110. P. 107–125. DOI: 10.1016/j.pocean.2012.11.005.
5. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во Университетское, 1960. 329 с.
6. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 150 с.
7. Оксьюк О.П., Жукинський В.Н., Брагинський Л.П. і др. Комплексна екологічна класифікація якості поверхневих вод суші // *Гідробіологічний журнал*. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–76.
8. Трифонова И.С. Оценка трофического статуса водоемов по содержанию хлорофилла *a* в планктоне // *Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов*. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 158–166.
9. Carlson R.E. A trophic state index for lakes // *Limnology and Oceanography*. 1977. Vol. 22. No. 2. P. 361–369. DOI: 10.4319/lo.1977.22.2.0361.
10. Vollenweider R.A. Das Nährstoffbelastungsconcept als Grundlage für den eutrophierungsprozess stehender Gewässer und Talsperren // *Zeitschrift für Wasser und Abwasser Forschung*. 1979. Bd. 12. No. 2. P. 46–56.
11. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. Paris: OECD, 1982. 155 p.
12. Сиротский С.Е. Трофический статус водотоков бассейна рек Бурья, Зeya, Бурейского и Зейского водохранилищ // *Научные основы экологического мониторинга водохранилищ. Дружининские чтения*. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. Вып. 2. С. 95–99.
13. Минеева М.Н. Эколого-физиологические аспекты формирования первичной продукции планктона водохранилищ Волги: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Нижний Новгород, 2004. 42 с.
14. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004. 156 с.
15. Ветров А.А. Хлорофилл, первичная продукция и потоки органического углерода в Карском море // *Океанология*. 2008. Т. 48. № 1, С. 38–47. DOI: 10.1134/S0001437008010050.
16. Кузнецова О.А., Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Буренков В.И., Мошаров С.А., Демидов А.Б. Оценка концентрации хлорофилла в Карском море по данным спутникового сканера MODIS AQUA // *Исследование Земли из космоса*. 2013. № 5. С. 21–31.
17. Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А. Исследование биооптических характеристик вод Карского моря с использованием данных спутниковых и судовых измерений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2014. Т. 11. № 4. С. 346–350.



18. Пелевин В.В., Завьялов П.О., Беляев Н.А., Коновалов Б.В., Кравчишина М.Д., Мошаров С.А. Пространственная изменчивость концентраций хлорофилла «а», растворенного органического вещества и взвеси в поверхностном слое Карского моря в сентябре 2011 г. по лидарным данным // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 1. С. 183–193.
19. Ярушина М. И. Фитопланктон водоемов бассейна р. Мордыяхи // Современное состояние растительного и животного мира полуострова Ямал. Екатеринбург: УИФ Наука, 1995. С. 37–40.
20. Генкал С.И., Ярушина М.И. Диатомовые водоросли слабоизученных водных экосистем крайнего севера Западной Сибири. М.: ООО «Научный мир», 2018. 212 с.
21. Генкал С.И., Ярушина М.И. Флора Bacillariophyta планктона тундровых экосистем в зоне освоения газоконденсатного месторождения (п-ов Ямал) // *Биология внутренних вод*. 2019. № 4–1. С. 3–13. DOI: 10.1134/S0320965219040235.
22. Богданов В.Д., Богданова Е.Н., Мельниченко И.П., Степанов Л.Н., Ярушина М.И. Проблемы охраны биоресурсов при обустройстве Бованенковского газоконденсатного месторождения // *Экономика региона*. 2012. № 4. С. 68–79.
23. Ведерников В.И., Демидов А.Б., Судьбин А.И. Первичная продукция и хлорофилл в Карском море в сентябре 1993 г. // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 693–703.
24. Гаевский Н.А., Семенова Л.А., Матковский А.К. Трофический статус вод экосистемы Обско-Тазовской устьевой области по показателям фитопланктона // *Вестник экологии лесоведения и ландшафтоведения*. 2010. № 10. С. 170–179.
25. Мошаров С.А. Распределение первичной продукции и хлорофилла «а» в Карском море в сентябре 2007 года // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 6. С. 933–941.
26. Суханова И.Н., Флинт М.В., Мошаров С.А., Сергеева В.М. Структура сообществ фитопланктона и первичная продукция в Обском эстуарии и на прилежащем Карском шельфе // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 785–800.
27. Житина Л.С., Ильяш Л.В. Состав и обилие фитопланктона Байдарацкой губы Карского моря в летний и осенний периоды // *Вестник Московского университета. Сер. 16: Биология*. 2013. № 2. С. 22–26.
28. Богданов В.Д., Степанов Л.Н., Богданова Е.Н., Мельниченко И.П., Ярушина М.И. Оценка современного состояния водных экосистем и проблемы охраны биологических ресурсов при обустройстве Крузенштернского ГКМ // *Экономика региона*. 2015. № 3. С. 266–278. DOI: 10.17059/2015-3-22.
29. Генкал С.И., Ярушина М.И. Материалы к флоре Bacillariophyta водоемов и водотоков бассейна реки Надуйяха (п-ов Ямал, Россия) // *Альгология*. 2016. Т. 26. № 1. С. 102–115.
30. Пыстина Н.Б., Баранов А.В., Ильякова Е.Е., Унанян К.Л. Исследования гидрохимических характеристик водных объектов в районе Бованенковского НГКМ // *Вестник газовой науки*. 2013. № 2(13). С. 107–112.
31. Коротков С.В., Бронников И.В., Голубев В.А., Паялов В.А. Инженерно-гидрометеорологические изыскания в заливе Шарапов Шар у западного побережья Ямала // *Инженерные изыскания*. 2011. № 6. С. 16–20.
32. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
33. SCOR-UNESCO Working Group 17. Determination of photosynthetic pigments in sea water // *Monographs on Oceanographic Methodology*. Paris: UNESCO, 1966. 69 p. DOI: 10.25607/OBP-1940.
34. Jeffrey S.W., Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton // *Biochemistry and Physiology. Biochemie und Physiologie der Pflanzen*. 1975. Vol. 167. No. 2. P. 191–194. DOI: 10.1016/S0015-3796(17)30778-3.
35. Ермилов О.М., Грива Г.И., Москвин В.И. Воздействие объектов газовой промышленности на северные экосистемы и экологическая стабильность геотехнических комплексов в криолитозоне. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 147 с.
36. Гецен М.В., Стенина А.С., Патова Е.Н. Альгофлора Большеземельской тундры в условиях антропогенного воздействия. Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. 147 с.
37. Ярушина М.И. Водоросли // Биоресурсы водных экосистем Полярного Урала. Екатеринбург: УрО РАН. 2004. С.18–56.

38. Биоразнообразие экосистем Полярного Урала. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН. 2007. 252 с.
39. Биология гидробионтов экосистемы р. Мордыахи. Свердловск, 1991. Рук. деп. в ВИНТИ 06.06.91. № 2367 – В-91. 76 с.
40. Проблемы охраны биоресурсов при обустройстве Бованенковского газоконденсатного месторождения / Богданов В.Д., Богданова Е.Н., Мельниченко И.П., Степанов Л.Н., Ярушина М.И. // Экономика региона. 2012. № 4(32). С. 68–79.
41. Валеева Э.И. Водные экосистемы // Природная среда Ямала. Тюмень: ИПОС СО РАН, 1995. Т. 1. С. 10–21.
42. Науменко Ю.В., Семенова Л.А. К изучению водорослей некоторых водоемов полуострова Ямал (Западная Сибирь) // Новости систематики низших растений. СПб.: Наука, 1996. Т. 31. С. 46–52.
43. Новикова Ю.В., Артемьев С.Н. Гидробиологические исследования Байдарацкой губы Карского моря в 2015 году (фитопланктон, зообентос) // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса М.: Изд-во ВНИРО, 2018. С. 193–197.
44. Кобленц-Мишке О.И., Ведерников В.И. Первичная продукция // Биология океана. Биологическая продуктивность океана. М.: Наука, 1977. Т. 2. С. 183–209.
45. Мордасова Н.В. Косвенная оценка вод по содержанию хлорофилла. Труды ВНИРО. 2014. Т. 152. С. 44–56.
46. Минеева Н.М., Митропольская И.В. Состав и продуктивность фитопланктона сопредельных участков Рыбинского и Горьковского водохранилищ // Биология внутренних вод. 2002. № 4. С. 25–33.
47. Минеева Н.М., Корнева Л.Г., Соловьева В.В. Продукционные характеристики фитопланктона волжских водохранилищ // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: мат-лы 3 между. конф. Минск: БГУ, 2007. С. 29–30.
48. Мухутдинов В.Ф. Продуктивность фитопланктона и гидрохимический режим Юмагузинского водохранилища (р. Белая, Башкортостан) в первые годы его существования: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок, 2013. 21 с.

## REFERENCES

1. Semenchenko V.P. Principles and systems of the flowing waters bio/indication. Minsk: Orekh, 2004. 125 p. (In Russ.).
2. Makrushin A.V. Biological analysis of water quality вод. L., 1974. 60 p. (In Russ.).
3. Shcherbak V.I., Semenyuk N.E., Maystrova N.V. Adaptation of the Ukrainian megapolises' water ecological status assessment methods concerning phyto[plankton and phyto/micro/periphyton to the requirements of Framework Water Directive 2000/60/EC. *Newsletter of the Ukrainian Academy of Sciences*. 2009. No. 10. P. 206–211. (In Ukr.).
4. Hill V.J., Matrai P.A., Olson E. et al. Synthesis of integrated primary production in the Arctic Ocean: II. In situ and remotely sensed estimates. *Progress in Oceanography*. 2013. Vol. 110. P. 107–125. DOI: 10.1016/j.poccean.2012.11.005.
5. Winberg G.G. Original production of water bodies. Minsk: Izd-vo Universitetskoye. 1960. 329 p. (In Russ.).
6. Bulyon V.V. Original production of inland water bodies. L.: Nauka, 1983. 150 p. (In Russ.).
7. Oksiyuk O.P., Zhukinskiy V.N., Braginskiy L.P. et al. Integrated ecological classification of the inland surface waters quality. *Hydrobiological journal*. 1993. Vol. 29. No. 4. P. 62–76 (In Russ.).
8. Trifonova I.S. Assessment of the water bodies' trophic status according to the chlorophyll "a" content in plankton. *Methodical issues of the inland water bodies' original plankton production studies*. SPb: Gidrometeoizdat, 1993. P. 158–166 (In Russ.).
9. Carlson R.E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*. 1977. Vol. 22. No. 2. P. 361–369. DOI: 10.4319/lo.1977.22.2.0361.
10. Vollenweider R.A. Das Nährstoffbelastungsconzept als Grundlage für den eutrophierungsprozess stehender Gewässer und Talsperren. *Zeitschrift für Wasser und Abwasser Forschung*. 1979. Bd. 12. No. 2. P. 46–56.
11. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. Paris: OECD, 1982. 155 p.

12. Sirotskiy S.E. Trophic status of the Bureya, Zeya rivers, and the Bureya and the Zeya reservoirs basin water courses. *Scientific foundations of the ecological monitoring of reservoirs. Druzhinin's Readings*. Khabarovsk: IVEP DVO RAN, 2005. Iss. 2. P. 95–99 (In Russ.).
13. Mineyeva M.N. Ecological/physiological aspects of the Volga reservoirs plankton primary production formation: abstract of the biological sciences doctoral thesis. Nizhniy Novgorod, 2004. 42 p. (In Russ.).
14. Mineyeva N.M. Vegetative pigments in the Volga reservoirs water. M.: Nauka, 2004. 156 p. (In Russ.).
15. Vetrov A.A. Chlorophyll, primary production and organic carbon flows in the Kara Sea. *Oceanology*. 2008. Vol. 48. No. 1. P. 38–47. DOI: 10.1134/S0001437008010050 (In Russ.).
16. Kuznetsova O.A., Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Burenkov V.I., Mosharov S.A., Demidov A.B. Assessment of the chlorophyll concentration in the Kara Sea according to the MODIS AQUA satellite scanner data. *The earth investigation from cosmos*. 2013. No. 5. P. 21–31 (In Russ.).
17. Glukhovets D.I., Goldin Y.A. Investigation of bio/optical characteristics of the Kara Sea water with the use of satellite and vessel observation data. *Contemporary problems of the Earth remote sounding from cosmos*. 2014. Vol. 11. No. 4. P. 346–350 (In Russ.).
18. Pelevin V.V., Zavyalov P.O., Belayev N.A., Konovalov B.V., Kravchishina M.D., Mosharov S.A. Spatial variability of the chlorophyll “a”, dissolved organic matter and suspension concentrations within the Kara Sea surface layer in September, 2011 according to the lidar data. *Oceanology*. 2017. Vol. 57. No. 1. P. 183–193 (In Russ.).
19. Yarushina M.I. Phytoplankton of the Mordiyakha River basin water bodies. *Current status of the Yamal Peninsula flora and fauna*. Ekaterinburg: UIF Nauka, 1995. P. 37–40 (In Russ.).
20. Genkal S.I., Yarushina M.I. Diaomov algae of the poorly investigated aquatic ecosystems of the extreme north of the Western Siberia. M.: Nauchniy mir, 2018. 212 p. (In Russ.).
21. Genkal S.I., Yarushina M.I. Biology of the inland waters. 2019. No. 4–1. P. 3–13. DOI: 10.1134/S0320965219040235 (In Russ.).
22. Bogdanov V.D., Bogdanova E.N., Melnichenko I.P., Stepanov L.N., Yarushina M.I. Problems of the bio/resources protection in the process of construction of the Bovanenkovo gas-condensate field. *Region economy*. 2012. No. 4. P. 68–79 (In Russ.).
23. Vedernikov V.I., Demidov A.B., Sudbin A.I. Primary production and chlorophyll in the Kara Sea in September, 1993. *Oceanology*. 1994. Vol. 34. No. 5. P. 693–703 (In Russ.).
24. Gayevskiy N.A., Semenova L.A., Matkovskiy A.K. Trophic status of the Ob-Taz delta region ecosystem waters in terms of the plankton indicators. *Newsletter of forest and landscape ecology*. 2010. No. 10. P. 170–179 (In Russ.).
25. Mosharov S.A. Distribution of primary production and chlorophyll “a” in the Kara Sea in September, 2007. *Oceanology*. 2010. Vol. 50. No. 6. P. 933–941 (In Russ.).
26. Sukhanova I.N., Flint M.V., Mosharov S.A., Sergeyeva V.M. The structure of the phytoplankton communities and primary production in the Ob estuary and at the adjacent Kara offshore. *Oceanology*. 2010. Vol. 50. No. 5. P. 785–800 (In Russ.).
27. Zhitina L.S., Ilyash L.V. The Kara Sea Baydaratsk Guba phytoplankton composition and abundance during summer and fall periods. *Bulletin of the Moscow University*. Ser. 16: Biology. 2013. No. 2. P. 22–26 (In Russ.).
28. Bogdanov V.D., Stepanov L.N., Bogdanova E.N., Melnichenko I.P., Yarushina M.I. Assessment of the current state of aquatic ecosystems and problems of the biological resources protection in the process of the Kruzenstern gas-condensate field construction. *Region economy*. 2015. No. 3. P. 266–278. DOI: 10.17059/2015-3-22 (In Russ.).
29. Genkal S.I., Yarushina M.I. Materials to flora Bacillariophyta of the Naduiyakh River basin water-courses and water bodies (the Yamal Peninsula, Russia). *Algology*. 2016. Vol. 26. No. 1. P. 102–115 (In Russ.).
30. Pystina N.B., Baranov A.V., Ilyakova E.E., Unanyan K.L. Investigations of the water bodies hydro/chemical characteristics in the area of the Bovanenkovsk gas-condensate field. *Bulletin of Gas Science*. 2013. No. 2(13). P. 107–112 (In Russ.).
31. Korotkov S.V., Bronnikov I.V., Golubev V.A., Payalov V.A. Engineering/hydro/meteorological survey in the Sharapov Shar Bay offshore the Yamal western bank. *Engineering surveying*. 2011. No 6. P. 16–20 (In Russ.).

32. Methods of the inland water bodies' bio/geo/ceonosis investigation. M.: Nauka, 1975. 240 p.
33. SCOR-UNESCO Working Group 17. Determination of photosynthetic pigments in sea water // Monographs on Oceanographic Methodology. Paris: UNESCO, 1966. 69 p. DOI: 10.25607/OBP-1940.
34. Jeffrey S.W., Humphrey G.F., New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochemistry and Physiology. Biochemie und Physiologie der Pflanzen*. 1975. Vol. 167. No. 2. P. 191–194. DOI: 10.1016/S0015-3796(17)30778-3.
35. Yermilov O.M., Griva G.I., Moskvina V.I. The gas industry impact upon northern ecosystems and ecological stability of geo/engineering complexes in cryolite zone. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002. 147 p. (In Russ.).
36. Getsen M.V., Stenina A.S., Patova E.N. Algaeflora of the Bolshezemelskaya Tundra under the conditions of anthropogenic impact. Ekaterinburg: UIF Nauka, 1994. 147 p. (In Russ.).
37. Yarushina M.I. Algae. Bioresources of the Polar Ural aquatic ecosystems. Ekaterinburg: UrO RAN. 2004. P.18–56 (In Russ.).
38. Biological diversity of the Polar Ural ecosystems. Syktykvar: Komi Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Ural Branch. 2007. 252 p. (In Russ.).
39. Biology of the Mordiyakhi River ecosystem hydrocoles. Sverdlovsk, 1991. A copy is deposited with VINITI 06.06.91. No. 2367 – B-91. 76 p. (In Russ.).
40. Problems of the bio/resources protection in the process of construction of the Bovanenkovо gas/condensate field. Bogdanov V.D., Bogdanova E.N., Melnichenko I.P., Stepanov L.N., Yarushina M.I. *Region economy*. 2012. No. 4(32). P. 68–79 (In Russ.).
41. Valeyeva E.I. Aquatic ecosystems. *The Yamal natural environment*. Tyumen: IPOS ISO RAN, 1995. Vol. 1. P. 10–21 (In Russ.).
42. Naumenko Y.V., Semenova L.A. On the studying of algae of several water bodies of the Yamal Peninsula (Western Siberia). *News of inferior plants system*. SPb.: Nauka, 1996. Vol. 31. P. 46–52 (In Russ.).
43. Novikova Y.V., Artemyev S.N. Hydrobiological studies of the Kara Sea Baydaratsk Guba in 2015 (phytoplankton, zoobenthos). *Contemporary problems and development prospects of the fishery sector*. M.: Izd-vo VNIRO, 2018. P. 193–197 (In Russ.).
44. Koblents-Mishke O.I., Vedernikov V.I. Original production. Ocean biology. *Ocean biological productivity*. M.: Nauka, 1977. Vol. 2. P. 183–209 (In Russ.).
45. Mordasova N.V. Indirect assessment of water by the chlorophyll content. *VNIRO Proceedings*. 2014. Vol. 152. P. 44–56 (In Russ.).
46. Mineyeva N.M., Mitropolskaya I.V. Composition and productivity of phytoplankton of the adjacent water areas of the Rybinsk and the Gorkiy reservoirs. *Inland waters biology*. 2002. No. 4. P. 25–33 (In Russ.).
47. Mineyeva N.M., Korneva L.G., Solovyeva V.V. Production characteristics of the Volga reservoirs phytoplankton. Lake ecosystems: biological processes, anthropogenic transformation, water quality. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference*. Minsk: BGU, 2007. P. 29–30 (In Russ.).
48. Mukhutdinov V.F. Phytoplakton productivity and the Yumarguzinsk Reservoir (the Belaya River, Bashkortostan) hydro/chemical regime during the first years of its existence: Abstract of the candidate of biological sciences thesis. Borok, 2013. 21 p. (In Russ.).

#### **Сведения об авторах:**

**Ярушина Маргарита Ивановна**, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, лаборатория экологии рыб и биоразнообразия водных экосистем, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202, e-mail: nvl@ipae.uran.ru

**Мухутдинов Валерий Фаметдинович**, канд. биол. наук, главный специалист, отдел научно-методического обеспечения восстановления и охраны водных объектов, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Уральский филиал, Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира 23; e-mail: wrm@wrm.ru

**Степанов Леонид Николаевич**, научный сотрудник, лаборатория экологии рыб и биоразнообразия водных экосистем, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202, ORCID Степанова Л.Н.: 0000-0001-8082-4138, e-mail: [stepanov@ipae.uran.ru](mailto:stepanov@ipae.uran.ru)

**About the authors**

**Margarita I. Yarushina**, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of ecology of fishes and aquatic biodiversity, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of RAS, ul. 8 Marta, 202, Ekaterinburg, 620144, Russia; e-mail: [nvl@ipae.uran.ru](mailto:nvl@ipae.uran.ru)

**Valery F. Mukhutdinov**, Candidate of Biological Sciences, Chief Expert, Department of Scientific/methodological Support of Water Bodies Restoration and Protection, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Ural Branch, ul. Mira, 23, Ekaterinburg, 620049, Russia; e-mail: [wrm@wrm.ru](mailto:wrm@wrm.ru)

**Leonid N. Stepanov**, Researcher, Laboratory of ecology of fishes and aquatic biodiversity, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg, ul. 8 Marta, 202, Ekaterinburg, 620144,; e-mail: [stepanov@ipae.uran.ru](mailto:stepanov@ipae.uran.ru)