

*Прибор* учета латерального потока осадочного вещества: патент № 173672 РФ: МПК<sup>51</sup> G 01 № 1/10 / М.В. Митяев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН. № 2017115950; заявл. 04.05.2017; опубл. 05.09.2017. Бюл. № 25. 8 с.

*Система* Белого моря. В 4-х т. Т. III. Рассеянный осадочный материал, потоки вещества, микробные процессы и загрязнения атмосферы / Отв. ред. А.П. Лисицын. М.: Научный мир, 2013. 668 с.

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.10.3.13-22  
УДК 551.464.32

**Т.Г. Ишкулова, И.А. Пастухов**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

## **СОВРЕМЕННОЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АКВАТОРИИ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА В ОСЕННИЙ ПЕРИОД**

### **Аннотация**

Работа посвящена анализу результатов гидрохимических исследований ММБИ КНЦ РАН в Кольском заливе в конце октября 2017 г. С помощью стандартных гидрохимических методов были определены концентрации кислорода, кремния, минеральных форм фосфора и азота. Описано распределение этих гидрохимических параметров в условиях осеннего периода. Приведены результаты статистического анализа. Показано, что основными факторами, влияющими на распределение величин этих параметров, являются гидрофизические явления, речной сток в залив и хозяйственная деятельность.

### **Ключевые слова:**

Кольский залив, биогены, кислород, рН, гидрохимия.

**T.G. Ishkulova, I.A. Pastukhov**

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

## **THE CURRENT HYDROCHEMICAL STATE OF THE KOLA BAY WATER AREA IN AUTUMN**

### **Abstract**

The paper is devoted to the analysis of the results of hydrochemical studies of MMBI KSC RAS in the Kola Bay at the end of October 2017. Determination of oxygen, silicon, mineral forms of phosphorus and nitrogen concentrations was carried out by standard hydrochemical methods. Spatial distribution of the parameters noted above is described. The results of the statistical analysis are given. It was shown that the main factors affecting the distribution of these parameters are hydrophysical phenomena, river discharge into the bay and economic activity.

**Keywords:**

Kola Bay, nutrients, oxygen, pH, hydrochemistry.

**Введение.** Биогенные элементы, их концентрация, распределение и сезонная динамика оказывают значительное влияние как на отдельные компоненты водных экосистем, так и на экосистемы в целом. Кольский залив – зона взаимодействия морских и континентальных вод, а также район, находящийся под интенсивной антропогенной нагрузкой. Недостаточная изученность содержания и распределения биогенных элементов и их влияния на экосистему Кольского залива создает существенный пробел в представлении об экологическом состоянии данного водоема. В первую очередь это касается компонентов фитопланктонного комплекса – основного потребителя биогенных элементов, поэтому связь гидрохимических параметров и состояния сообщества микроводорослей не только непосредственная, но и носит двусторонний характер. С одной стороны, изменения в концентрации биогенных веществ влияют на биомассу и видовое разнообразие фитопланктона, с другой стороны, массовое развитие тех или иных таксонов микроводорослей может в значительной степени влиять на химическое состояние водных масс акватории. Поэтому изучение состава и соотношения гидрохимических параметров поможет получить актуальную картину функционирования всей водной экосистемы Кольского залива. Особо следует подчеркнуть важность изучения динамики распределения биогенных элементов, в частности их накопление в концентрациях, превышающих ПДК.

**Материал и методы.** В данной работе анализируются результаты гидрохимических исследований, полученных в ходе экспедиции Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН на НИС “Дальние Зеленцы” в Кольском заливе 28–31 октября 2017 г. (рис. 1).

В Кольском заливе на 11 комплексных станциях отобрано 45 проб морской воды на стандартных горизонтах – 0, 10, 25, 50, 100 м, дно. Определение гидрохимических параметров проводили следующими методами (Справочник ..., 1991):

Винклера – растворенный в воде кислород,

Морфи-Райли – минеральный фосфор ( $P-PO_4^{3-}$ ),

Королева – растворенный кремний ( $Si-SiO_3^{2-}$ ),

Бендшнайдера и Робинсона – нитритный азот ( $N-NO_2^-$ ) и нитратный азот ( $N-NO_3^-$ ).

Измерение оптической плотности биогенных элементов осуществляли на фотоколориметре КФК-2. Водородный показатель определяли электрометрическим методом на иономере И-500 (Руководство ..., 1993). Полученные статистические данные представлены в таблице.

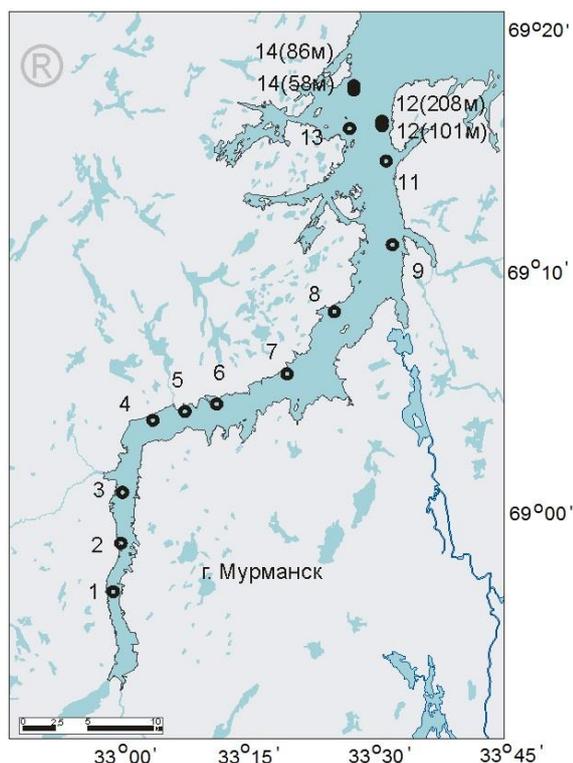


Рис. 1. Карта-схема станций гидрохимических исследований в октябре 2017 г.  
 Fig. 1. Map of hydrochemical research stations (October 2017)

**Гидрохимические характеристики водных масс  
 Кольского залива в октябре 2017 г.  
 Hydrochemical characteristics of the water masses  
 of the Kola Bay in October 2017**

Характеристика	Южное колено	Среднее колено	Северное колено
O <sub>2</sub> , мг/л	<u>8.94–10.00</u> 9.39±0.4	<u>9.28–10.64</u> 9.62±0.43	<u>9.23–10.02</u> 9.52±0.22
O <sub>2</sub> , % насыщения	<u>82–93</u> 90±4	<u>91–99</u> 95±2	<u>91–99</u> 95±2
pH	<u>7.67–7.92</u> 7.83±0.09	<u>7.87–8.04</u> 7.99±0.06	<u>7.99–8.23</u> 8.08±0.06
Si–SiO <sub>3</sub> , мкг-ат/л	<u>2.9–19.98</u> 5.97±0.65	<u>1.84–5.82</u> 2.99±1.40	<u>1.60–12.73</u> 3.83±2.80
N–NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мкг-ат/л	<u>0.02–0.07</u> 0.04±0.02	<u>0.02–0.14</u> 0.06±0.04	<u>0.04–0.26</u> 0.13±0.07
N–NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мкг-ат/л	<u>2.15–3.09</u> 2.60±0.33	<u>0.52–3.16</u> 2.23±0.90	<u>0.22–3.52</u> 1.97±0.86
P–PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мкг-ат/л	<u>0.41–1.43</u> 0.61±0.34	<u>0.34–0.47</u> 0.41±0.04	<u>0.16–0.78</u> 0.42±0.16

ПРИМЕЧАНИЕ. Числитель – минимум–максимум, знаменатель – среднее± стандартное отклонение.

**Результаты и обсуждение.** Водные массы Кольского залива находятся под непосредственным влиянием прибрежной ветви Нордкапского течения. Слой от 50 м до дна занимают нетрансформированные баренцевоморские водные массы с соленостью 34.0–34.5 ‰ без отчетливо выраженного годового хода. Соленость в слое 0–50 м падает по мере продвижения к куту до 10–15 ‰. Осенний период в Кольском заливе во всем водном столбе характеризуется температурной инверсией (ростом с глубиной) и достижением годового максимума на глубине 50 м (6.5–7 °С) (Кольский ..., 1997, 2009). В заливе температура поверхностного горизонта понижалась по направлению к куту (от 6.24 °С на ст. 14 до 4.02 °С на ст. 1), как и значения солености (от 33.86 до 19.11 ‰ соответственно).

**Растворенный кислород.** По результатам наших исследований абсолютное содержание растворенного кислорода колебалось в пределах 8.94–10.64 мг/л (таблица). Ход кривой распределения O<sub>2</sub> для станций 8, 9 и 11 отличается от большинства станций и напоминает кривую распределения кислорода осенью в прибрежных водах Баренцева моря (Гидрометеорология ..., 1992). Подповерхностный минимум O<sub>2</sub> на глубине 10 м в северном колене (рис. 2), возможно, следствие несколько большей температуры на этом горизонте по сравнению с поверхностным (на 1.5–2.0 °С). Также можно предположить, что понижение концентрации O<sub>2</sub> связано с его расходом на окисление органического вещества. Не исключена аддитивность этих двух факторов.

В октябре продукционные процессы в Баренцевом море практически затухают, и насыщенность вод кислородом падает (Гидрометеорология ..., 1992; Кольский ..., 1997). По нашим данным, процент насыщения O<sub>2</sub> на акватории Кольского залива в октябре 2017 г. изменялся от 82 до 99 %. В северном и среднем коленах Кольского залива он существенно не отличался, но был в среднем на 5 % выше, чем в южном колене. Также следует отметить, что в южном колене наблюдалось увеличение насыщенности кислородом вод от поверхности ко дну (рис. 2), что является характерной чертой данного участка Кольского залива в осенне-зимний период (Кольский ..., 1997; Гидрохимические ..., 2011).

Кислородное недосыщение водных масс залива составило в среднем около 6 %. Только в южном колене (станции 1 и 2) в водном слое 0–10 м отмечено увеличение недосыщенности вод кислородом свыше 10 %. Это указывает на явное преобладание в этих водах окислительных процессов (Бессонов, Привезенцев, 1987).

На глубоководных станциях 8, 9 и 11 на глубине 100 м и ниже недосыщение кислородом колеблется около 8–9 %. Учитывая значительные концентрации минеральных форм фосфора и азота (до 74.4 мкг-ат/л P–PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> и 3.52 мкг-ат/л N–NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), а также низкие величины pH (7.9–8.1) на этих глубинах, можно утверждать, что и в этих водах окислительные процессы преобладают.

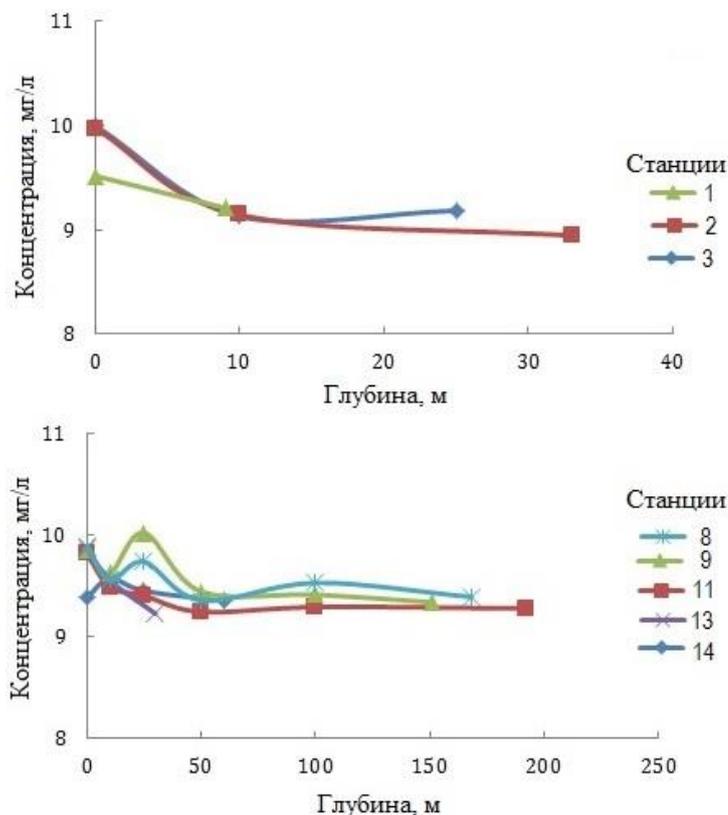


Рис. 2. Распределение  $O_2$  в Кольском заливе в октябре 2017 г.  
Fig. 2. Distribution of  $O_2$  in Kola Bay in October 2017

**Водородный показатель.** Величины водородного показателя в Кольском заливе уменьшались в направлении от выхода из залива к куту. Средневзвешенные значения водородного показателя для исследованной акватории возрастали от 7.82 в южном колене до 8.08 в северном. Вертикальное распределение рН в период наших работ имело свои особенности. Так, в южном колене Кольского залива значения водородного показателя у дна несколько выше (примерно на 0.5–0.6 %), чем в поверхностном горизонте. В среднем колене рН на этих горизонтах почти не отличается. В северной части Кольского залива в поверхностных водных массах наблюдалось более высокое значение водородного показателя, чем в придонном слое. Также при рассмотрении вертикального распределения величин данного показателя отмечается их увеличение в слое 10–25 м. Максимальное значение рН (8.23) зафиксировано на ст. 11 на глубине 25 м.

В осенне-зимний период в Кольском заливе уменьшается речной сток, возрастает влияние морских вод, увеличивая значения водородного показателя (Кольский ..., 1997). Однако величины рН в южном колене из-за опреснения и нарастающих в осенний период процессов окисления

остаются наименьшими для исследованной акватории. В северной части Кольского залива, наиболее подверженной морскому влиянию, в придонном горизонте наблюдались значения водородного показателя, характерные для водных масс мелководных районов Баренцева моря (8.00–8.10) (Гидрометеорология ..., 1992).

**Нитритный азот.** Эта форма азота является промежуточным звеном в процессе преобразования органического вещества до нитратного азота. В Кольском заливе существует явно выраженный сезонный ход в распределении нитритного азота – максимальные концентрации наблюдаются осенью. Также могут формироваться локальные максимумы, связанные с выносом органики речным стоком. Наличие в воде нитритов в значительном количестве свидетельствует об интенсивных окислительных процессах и может использоваться в качестве косвенного критерия загрязнения района исследований. Концентрация нитритного азота в Кольском заливе, по литературным данным, может достигать максимално 0.15 мкг-ат/л (южное колено). Минимальные количества зафиксированы в северном колене и не превышают 0.02 мкг-ат/л (Кольский ..., 1997).

Содержание нитритов на исследованной акватории имело тенденцию к уменьшению от поверхностного горизонта к придонному. Средневзвешенное содержание азота нитритного в южном и среднем коленах Кольского залива в среднем составило 0.04 мкг-ат/л, в северном колене – 0.1 мкг-ат/л. В среднем колене на ст. 7 на глубине 10 м отмечается увеличение концентрации  $N-NO_2^-$  до 0.14 мкг-ат/л, что, вероятно, связано с присутствием на данном горизонте окисляемого органического вещества. Необходимо подчеркнуть схожесть распределения и высокое содержание в воде нитритов на станциях 9 и 11 (около 0.23 мкг-ат/л  $N-NO_2^-$ ), расположенных вблизи губ Большая Волоковая и Тюва соответственно (рис. 3). Эти максимумы могут быть следствием выноса и разложения органики, а также нитритов с речным стоком и городскими бытовыми водами (Состояние ..., 2018).

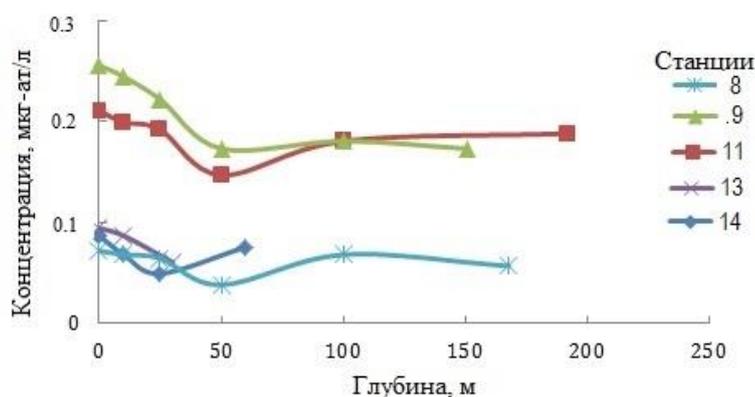


Рис. 3. Распределение нитритного азота в Кольском заливе в октябре 2017 г.  
Fig. 3. Distribution of nitrite nitrogen of the Kola Bay in October 2017

**Нитратный азот.** Из литературных источников известно, что осенью в Кольском заливе наблюдается низкое содержание нитратного азота – от 0.97 до 1.45 мкг-ат/л, а распределение отличается однородностью. Вместе с тем концентрация нитратов значительно увеличивается при поступлении и окислении органического вещества, что характерно для осеннего периода (Кольский ..., 1997). По результатам наших исследований диапазон флуктуаций данного биогенного элемента в Кольском заливе значительно шире: минимум зарегистрирован на ст. 11 (северное колено) на глубине 25 м – 0.22 мкг-ат/л, а максимальная концентрация больше вышеуказанной примерно в 16 раз (ст. 8, придонный горизонт – 3.56 мкг-ат/л). В северном колене, в отличие от остальной части исследованной акватории, однородного распределения нитратного азота не наблюдается. Причины, вероятно, схожи с таковыми для нитритного азота, однако это требует дополнительного изучения.

**Минеральный фосфор.** Максимальная концентрация фосфатов наблюдается осенью в придонном слое, когда наиболее интенсивно идет регенерация органического вещества (Гидрометеорология ..., 1992; Кольский ..., 1997). По результатам наших исследований диапазон изменения концентрации фосфора фосфатного в Кольском заливе находится в пределах 0.16–1.43 мкг-ат/л. Самое низкое содержание фосфатов отмечено на ст. 8 на глубине 50 м, а самое высокое – в южном колене в придонном горизонте (таблица).

В южном колене распределение фосфора, вероятно в силу небольшой глубины, практически не изменялось по вертикали и колебалось около 0.61 мкг-ат/л. Только ст. 1, находящаяся в самом куту Кольского залива, отличалась максимальными концентрациями фосфора фосфатного в этом колене: в поверхностном слое – 0.65 мкг-ат/л, в придонном – в 2.3 раза больше. Причиной таких высоких концентраций, согласно литературным данным (Кольский ..., 1997; Киреева, 2014), является антропогенный фактор.

Особенностью вертикального распределения фосфатов в среднем колене во время фотосинтеза является формирование подповерхностного промежуточного минимума (Кольский ..., 1997). В распределении фосфора на станциях 5, 6, 11 и 14 также наблюдается небольшой подповерхностный минимум на глубине 10 м в период, когда вегетации уже не предполагается (Кольский ..., 2009; Макаревич и др., 2015). Поэтому, очевидно, этот подповерхностный минимум – следствие гидрофизических явлений.

Воды в районе станций 7,8, 9 и 13 по типу распределения фосфора сходны между собой, но отличны от вышеописанных – кривая распределения имела подповерхностный максимум на глубине 10–15 м, а также минимум на 25 и 50 м. Причины данных флуктуаций для каждой станции, скорее всего, различны, в силу расположения и удаленности друг от друга (рис. 4). Принимая во внимание распределение остальных

параметров гидрохимического комплекса в рассматриваемых точках (насыщенность кислородом особенно), эти флуктуации, вероятно, являются следствием влияния абиотических факторов. Однако необходимо признать, что антропогенное воздействие промышленных и бытовых источников фосфора в Кольском заливе, сложно поддающееся учету, может исказить реальную картину распределения данного биогенного элемента.

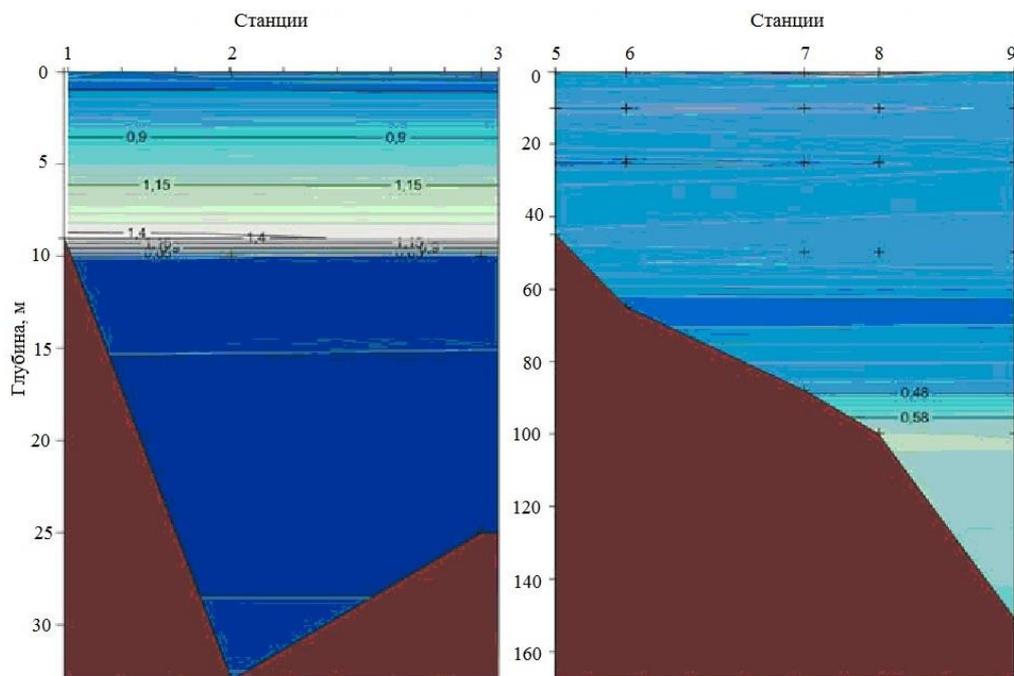


Рис. 4. Распределение минерального фосфора в Кольском заливе в октябре 2017 г., мкг-ат/л

Fig. 4. Distribution of mineral phosphorus in Kola Bay (October 2017), mkg-at/l

**Растворенный кремний.** Распределение кремния в водных массах Кольского залива сходно с распределением нитратов и фосфатов. Однако имеются свои особенности. Так осенью содержание кремния в поверхностном слое прибрежных вод сохраняется высоким. Среди биогенных элементов кремний имеет значительные концентрации также и в речных водах. Поэтому количество кремния в водных массах Кольского залива различно, и зависит от удаленности станции от берегового стока, а в верхних горизонтах зависит также от фазы прилива (Кольский ..., 1997).

Воды станций 2, 3, 7, 9, 14 имели довольно равномерное распределение кремния от поверхности до дна. Его содержание здесь находилось в пределах 1.80–4.94 мкг-ат/л. Средневзвешенная концентрация кремния в северном и среднем коленах составляла 2.50 мкг-ат/л, а

в южном – 6.44 мкг-ат/л. Таким образом, содержание кремния в Кольском заливе увеличивалось по направлению к куту и от придонного горизонта к поверхностному. Водные массы на станциях 1, 9 и 11 отличались максимальным количеством кремния в поверхностном горизонте (до 19.98 мкг-ат/л). Такая высокая концентрация указывает на терригенное происхождение данного биогенного элемента.

Таким образом, основными факторами, определяющими величины параметров гидрохимического комплекса в исследуемый период времени является гидрофизические явления, речной сток в залив и хозяйственная деятельность. На момент исследований в водах Кольского залива преобладают окислительные процессы. Величины содержания биогенных элементов, кислорода и рН характерны для осеннего периода завершения вегетационной деятельности. Выявлены значительные изменения в амплитуде флуктуаций концентраций большинства биогенных элементов. К ним относятся увеличение содержания фосфора, азота (как нитритного, так и нитратного) на всей исследованной акватории, что, без сомнения, оказывает влияние на экологические состояние акватории залива.

Работа выполнена по теме 9-17-01 “Особенности организации арктических планктонных сообществ в условиях современных климатических изменений (Баренцево, Карское моря и море Лаптевых)” (№ госрегистрации АААА-А17-117052310083-5) в рамках государственного задания № 0228-2019-0003.

## Литература

*Бессонов Н.М., Привезенцев Ю.А.* Рыбохозяйственная гидрохимия. М.: ВО “Агропромиздат”, 1987. 160 с.

*Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР.* Т. 1. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности / Отв. ред. Ф.С. Терзиев. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 181 с.

*Гидрохимические исследования вод Кольского залива / С.И. Овчинникова, Т.А. Широкая, О.В. Михнюк, Н.А. Панова // Рыбное хозяйство. 2011. № 4. С. 39–41.*

*Киреева А.* Кольский залив – одна из самых грязных акваторий РФ. [Электронный ресурс] // Bellona.ru [сайт]. 2014. URL: <http://bellona.ru/2014/09/04/> (Дата обращения 14.03.2018).

*Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты / Отв. ред. Г.Г. Матишов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 261 с.*

*Кольский залив: освоение и рациональное природопользование / Отв. ред. Г.Г. Матишов. М.: Наука, 2009. 381 с.*

*Макаревич П.Р., В.В. Водопьянова, Олейник А.А.* Фитоценозы пелагиали Кольского залива. Структура и функциональные характеристики / Отв. ред. С.Л. Дженюк. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2015. 192 с.

*Состояние* окружающей природной среды Мурманской области на Кольском полуострове в 2000 году [Электронный ресурс] // Murman.ru. 2018. URL: <https://www.murman.ru/ecology/comitet/report00/> (Дата обращения 14.03.2018).

*Справочник* гидрохимика: рыбное хозяйство / А.И. Агатова, И.А. Налетова, В.Л. Зубаревич и др. М.: Агропромиздат, 1991. 224 с.

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.10.3.22-35

УДК 597.08.591.9

**О.Ю. Кудрявцева**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИБРЕЖНЫХ СООБЩЕСТВ РЫБ В ГУБАХ ВОСТОЧНОГО МУРМАНА В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2018 ГОДА**

### **Аннотация**

Рассмотрен видовой состав ихтиофауны литорально-сублиторальной зоны губ Ярнышная и Зеленецкая Баренцева моря в летне-осенний период 2018 г., получены количественные характеристики распределения каждого вида рыб. Проанализирована динамика численности и разнообразия рыбной части прибрежных сообществ. Обнаружены 14 видов рыб, среди которых наиболее многочисленным и постоянным является молодь сайды *Pollachius virens*. В сравнении с многолетними данными 2018 г. характеризуется высокой численностью и степенью доминирования молоди тресковых видов и низкими показателями биоразнообразия прибрежных сообществ.

### **Ключевые слова:**

ихтиофауна, состав, численность, биомасса, разнообразие, прибрежная зона, губы Ярнышная и Зеленецкая.

**O.Yu. Kudryavtseva**

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

## **CHARACTERISTICS OF COASTAL FISH COMMUNITIES IN THE BAYS OF EASTERN MURMAN DURING SUMMER AND AUTUMN 2018**

### **Abstract**

In the article was considered species composition of fish in the littoral and sublittoral zones of Yarnyshnaya and Zelenetskaya bays (Barents Sea) during summer and autumn 2018. Also quantitative characteristics of the distribution for each fish species are represented. The dynamics of abundance and diversity of coastal fish communities were analyzed. At whole was discovered 14 species of fish and most abundant between them is young saithe *Pollachius virens*. Comparing of perennial data with 2018 indicates that at the present observed high abundance and domination of young saithe, but low indicators of biodiversity in coastal communities.