

## СОВРЕМЕННОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НИЗОВЬЕВ р. СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ (по материалам гидрохимической съемки 2019 г.)

Климовский Н. В., Матвеев Н. Ю., Новоселов А. П.

## CURRENT ENVIRONMENTAL STATE OF THE LOWER NORTHERN DVINA RIVER (following a hydrochemical survey carried out in 2019)

Klimovskiy N. V., Matveev N. Y., Novoselov A. P.

### Аннотация

**Введение.** Река Северная Двина — один из крупнейших водотоков Европейского Севера России, а ее бассейн — один из самых урбанизированных в этом регионе. Именно здесь расположено около половины всех предприятий Архангельской области, которые на протяжении десятилетий загрязняют экосистему реки сточными водами с высоким содержанием загрязняющих веществ. **Методы.** В данной работе приведены результаты комплексного изучения экологического состояния нижнего течения р. Северной Двины в 2019 году, охватывающего исследование речной воды и донных отложений. **Результаты.** Представлены пространственные и сезонные изменения содержания биогенных элементов и нефтепродуктов в водах и донных отложениях в устьевой области р. Северной Двины. **Заключение.** В результате проведенных исследований установлено, что концентрации солей фосфора, азота и кремния за весь период наблюдений не превысили предельно допустимых значений (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов. Содержание нефтяных углеводородов на большинстве исследованных станций также оставалось в границах ПДК. Больше содержание нефтепродуктов зафиксировано в иловых отложениях, меньшее — в песчаных. Концентрации растворенного кислорода в водах р. Северной Двины в период исследований колебались в рамках сезонной изменчивости (с максимальными значениями летом и минимальными зимой). Случаев снижения его величины ниже уровня ПДК (т. е. проявления заморных явлений) не было отмечено ни на одной точке мониторинга.

**Ключевые слова:** река Северная Двина, устьевая область, растворенный кислород, водородный показатель, биогенные элементы, нефтепродукты, донные отложения.

### Abstract

**Introduction.** The Northern Dvina River is one of the largest streams in the European North of Russia, and its basin is one of the most urbanized in the region. About a half of all enterprises of the Arkhangelsk Region are located here, and for decades, they have been contaminating the river ecosystem with wastewater having a high content of pollutants. **Methods.** The paper presents the results of a comprehensive study on the environmental state of the Northern Dvina lower reaches, carried out in 2019, which included studies of the river water and bottom sediments. **Results.** The authors describe spatial and seasonal changes in the content of nutrients and petroleum products in the estuary water and bottom sediments. **Conclusion.** As a result of the studies, it was found that, during the entire monitoring period, the concentrations of phosphorus, nitrogen and silicon salts did not exceed the maximum allowable values for fishery water bodies. The content of petroleum hydrocarbons at most of the studied stations also was within the limits of maximum allowable concentrations. A higher content of petroleum products was observed in silt sediments, and their smaller content was observed in sand deposits. During the period of the studies, the concentrations of dissolved oxygen in the river water fluctuated within the limits of seasonal variability (with the maximum values in summer and the minimum values in winter). There were no cases of a decrease in its values below the MAC level (no cases of fish kill phenomena) at any monitoring point.

**Keywords:** Northern Dvina River, estuary, dissolved oxygen, pH, nutrients, petroleum products, sediments.

### Введение

Река Северная Двина является одной из крупнейших интерзональных рек не только Европейского Севера России, но и Европы в целом. Образуется от слияния рек Сухоны и Юга и впадает в Двинский залив Белого моря. В устье реки расположен один из наиболее крупных промышленных центров Архангельской области — г. Архан-

гельск. Основные загрязнители речной системы в этом районе — предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, теплоэнергетики, строительства, автомобильный и речной транспорт, и именно здесь проходит аккумуляция загрязняющих веществ, транспортируемых речными водами со всего водосборного бассейна [2, 13].

*Цель работы* — проведение комплексного исследования экосистемы низовьев р. Северной Двины и оценка ее состояния в современных условиях.

*Задачи исследования:* сбор и анализ информации по экологическому состоянию среды обитания гидробионтов р. Северной Двины; проведение экспедиционных исследований с отбором проб донных отложений и воды с поверхностного горизонта; выявление возможных источников поступления нефтепродуктов.

### Методы и материалы

В 2019 г. были проведены комплексные гидрологические и гидрохимические исследования на 15 станциях в нижнем течении р. Северной Двины. Пробы отбирали в зимний, весенний, летний и осенний периоды в районах вблизи с. Усть-Пинега (0,7 км ниже впадения р. Пинеги), напротив г. Новодвинска, в черте г. Архангельска (около железнодорожного моста и у о-ва Кегостров), в протоке Кузнечиха, а также на участке приустьевого взморья (рис. 1). Работы на представленных станциях по низовью р. Северной Двины выполнены впервые и в дальнейшем будет вестись мониторинг.

Отбор проб донных отложений проводился согласно ГОСТ 17.1.5101–80 [4] с использованием дночерпателя Петерсона с площадью захвата 0,25 м<sup>2</sup>. В отобранных пробах определялись нефтепродукты. Пробы воды согласно ГОСТ 17.1.3.07–82 [5] отбирались с поверхност-

ного горизонта пластиковым батометром Нискина. В пробах воды определялись следующие показатели: температура, рН, минерализация, содержание растворенного кислорода, биогенных элементов, а также нефтепродуктов.

Химические анализы были проведены в соответствии с общепринятыми в гидрохимической практике методами [15]. Растворенный в воде кислород фиксировался с помощью оксиметра, активная реакция среды рН и минерализация воды определялись с помощью рН-метра и кондуктометра.

Фосфатный (минеральный) фосфор определялся методом Морфи–Райли с применением аскорбиновой кислоты в качестве восстановителя. Определение аммонийного азота выполнялось по методике Сэджи–Солорзано с гипохлоритом и фенолом, нитритов — методом Бендшнайдера и Робинсона с сульфаниламидом и N-(1-нафтил)этилендиамином. Нитраты определялись фотометрическим методом с салициловой кислотой с образованием желтого комплексного соединения по ПНД Ф 14.1:2.4 [16]. Определение кремния проводилось колориметрическим методом по голубому кремнемолибденовому комплексу — методом Королева. Для определения массовой концентрации нефтяных углеводородов в пробах природных вод применялся флуориметрический метод, основанный на их экстракции гексаном из проб воды по ПНД Ф 14.1:2:4.128 [17]. При определении массовой концентрации нефтепро-

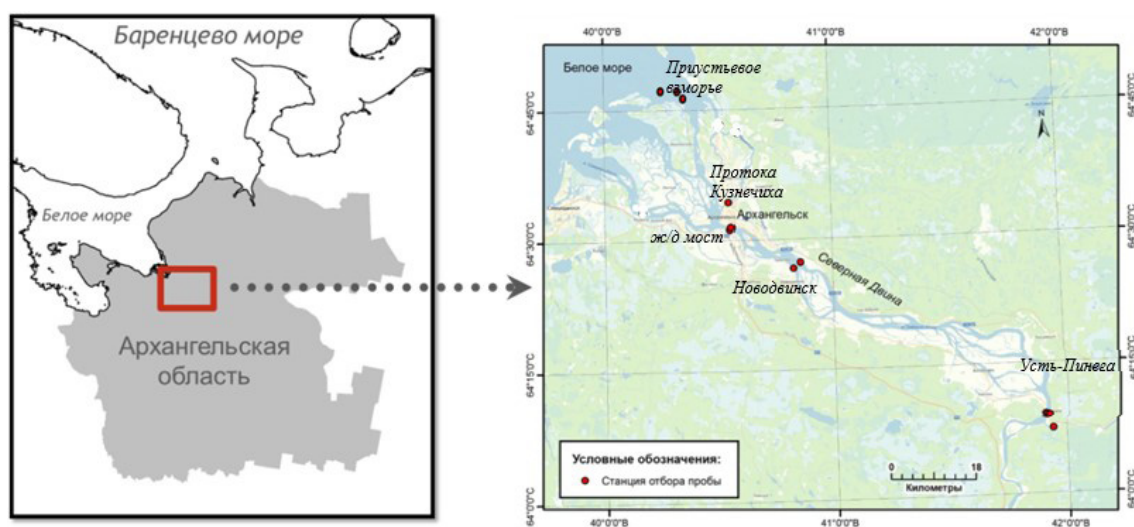


Рис. 1. Схема участков отбора проб в 2019 г.

дуктов в донных отложениях использовался флуориметрический метод по ПНД Ф 16.1:2.21 [10].

### Результаты исследования и обсуждение

#### *Гидрологические и гидрохимические условия.*

Высокое весеннее половодье, относительно низкая летняя межень с дождевыми паводками и низкими уровнями зимой отличают гидрологический режим р. Северной Двины. Объем стока весеннего половодья достигает 50 % годового стока воды. Это связано с продолжительным протеканием зимы и накоплением осадков в виде снега, а затем — с интенсивным весенним таянием. Направление течения реки (с юга на север) играет большую роль в формировании ее гидрологического режима. Наиболее заметно это при вскрытии и замерзании рек, то есть в весенний и осенний периоды. Так, весеннее таяние в верховьях приводит к паводку. Продвигаясь с юга, паводочная волна пополняется за счет таяния снега на участках, расположенных ниже [8].

Чаще всего весеннее половодье на Северной Двине протекает в две волны. Первая волна начинается во второй декаде апреля, формируясь на реках Сухоне и Юге, затем, после впадения в реку Вагу, усиливается. Движение этой волны сопровождается заторными подъемами воды. Вторая волна, идущая с р. Вычегды, следует спустя три недели после первой. Летне-осенняя межень наступает после спада весеннего половодья, в среднем в первой декаде июня. Зимняя межень начинается с первыми ледовыми явлениями и заканчивается с началом весеннего подъема до вскрытия реки [8].

Гидрологический режим дельты Северной Двины определяет речной сток, поскольку на протяжении всего года он распределяется неравномерно. Так, в весенне-летний период (апрель–июнь) благодаря таянию снега и весенним дождям поступает основная часть стока (50–60 %), а за зимний период (декабрь–март) поступает всего 10 % годового стока. Зимний сток постепенно уменьшается от начала ледостава до весеннего подъема. Как правило, минимальные зимние расходы отмечаются в марте. Чаще всего зимний минимум является и годовым. Повышение стока можно отметить еще в один период — осенний (сентябрь–ноябрь). Связано это с увеличением осадков и уменьшением испарения в бассейне [8].

Воды дельты Северной Двины имеют слабощелочные свойства, за исключением периода прохождения пика половодья. В этот период значения водородного показателя уменьшаются до значений, соответствующих нейтральной реакции, или приобретают значения, характерные для слабокислых вод. По полученным нами данным в 2019 г. среднее значение водородного показателя для условий зимнего периода составляло 7,59, весеннего половодья — 7,63, летнего периода — 8,12, осеннего периода — 7,74. Распределение водородного показателя по поперечным сечениям дельтовых водотоков относительно однородно, наибольшие различия характерны для осеннего периода. Можно выделить два фактора, оказывающих влияние на внутригодовую изменчивость значений водородного показателя в дельте Северной Двины. Во-первых, это сезонные изменения кислотно-щелочных свойств вод, поступающих в изучаемый район, во-вторых, гидробиологические процессы, по-разному протекающие на его конкретных участках [18].

Анализируя полученные данные, можем констатировать, что температура воды в течение вегетационного сезона 2019 г. имела существенный сезонный ход, более сглаженно повторяющий ход температуры воздуха. Нарушение этой связи мы можем отметить в зимний период: температура воды довольно устойчива во всех районах устьевой зоны. Наибольшие значения показателя в пределах устьевой области наблюдались в середине июля и достигали 20,3 °С. В зимний период минимальная температура воды в реке была близка нулю.

По полученным данным, в период зимней межени сумма главных ионов в пространственном аспекте увеличивалась от участка р. Северной Двины около с. Усть-Пинега (461 мг/дм<sup>3</sup>) до 472 мг/дм<sup>3</sup> на участке в черте г. Новодвинска, расположенном несколько ниже по течению, и до 494 мг/дм<sup>3</sup> на участке в черте г. Архангельска. Весной во время половодья значения минерализации несколько снижаются. На участке в черте г. Новодвинска минерализация в среднем составляла 136 мг/дм<sup>3</sup>. На участках в черте г. Архангельска (железнодорожный мост) и в протоке Кузнечиха распределение минерализации было достаточно однородным, составляя в среднем 429 мг/дм<sup>3</sup>. Несколько иная картина наблюдалась

на участке приустьевого взморья, где значения минерализации достигали максимума и составляли в среднем 514 мг/дм<sup>3</sup>. В летний период на исследованных участках минерализация составляла в среднем от 144 до 227 мг/дм<sup>3</sup>, в осенний период она изменялась соответственно от 170 до 236 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 2).

Для существования большинства организмов в водоемах ключевым условием является наличие растворенного кислорода. Сохранять нормальную жизнедеятельность при отсутствии кислорода могут очень немногие гидробионты, относящиеся преимущественно к бактериям и простейшим. Поэтому при проведении рыбоводных и гидробиологических исследований необходимо уделять внимание кислородному режиму водных объектов. Так, нехватка содержания кислорода сказывается на интенсивности обмена веществ рыб, происходит снижение устойчивости ко многим ядам органической и неорганической природы, все это приводит к нарушению нормальной жизнедеятельности рыб. При 30 %-ном насыщении воды кислородом устойчивость рыб к токсическим веществам снижается в 7 раз по сравнению со 100 %-ным насыщением [9].

На кислородный режим дельты Северной Двины оказывают влияние сезонная изменчивость, пространственные колебания температуры воды

в вегетационный период, особенности деформаций ледяного покрова во время ледостава [8]. На содержание кислорода в реках влияют физические условия обогащения кислородом (скорость течения, температура воды и т. п.), выделение кислорода водными растениями и т. д. [9]. Количество растворенного в воде кислорода является одним из главных гидрохимических показателей санитарного состояния водного объекта.

Концентрации растворенного в воде кислорода изменялись в течение всего периода исследований и определялись соотношением интенсивности двух групп процессов, обогащающих или обедняющих воду кислородом. К первой группе относятся продуцирование кислорода водной растительностью при фотосинтезе, абсорбция из атмосферы, а также гидродинамические факторы.

Учитывая, что в зимний период р. Северная Двина покрыта льдом, столь низкое насыщение кислородом вызвано естественными причинами, а именно ограничением аэрации вод из атмосферы и понижением интенсивности фотосинтеза. В то же время содержание растворенного кислорода в зимний период 2019 г. не опускалось ниже минимальной концентрации, допустимой для водоемов рыбохозяйственного значения (4 мг/дм<sup>3</sup> для зимнего периода) и варьировало в диапазоне от 5,73 до 6,0 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 3).

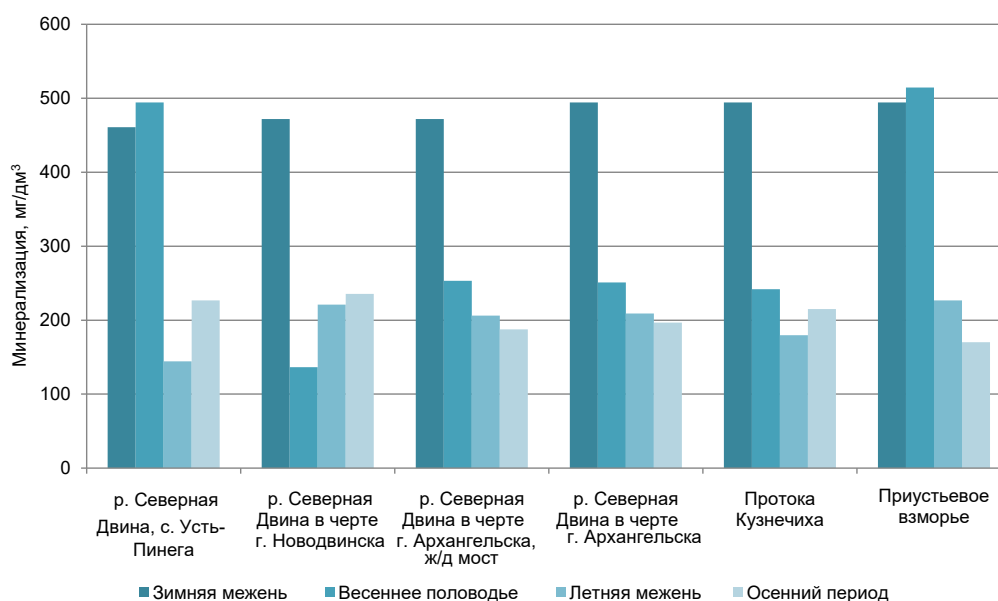


Рис. 2. Изменение средней минерализации в нижнем течении р. Северной Двины по гидрологическим сезонам 2019 г.

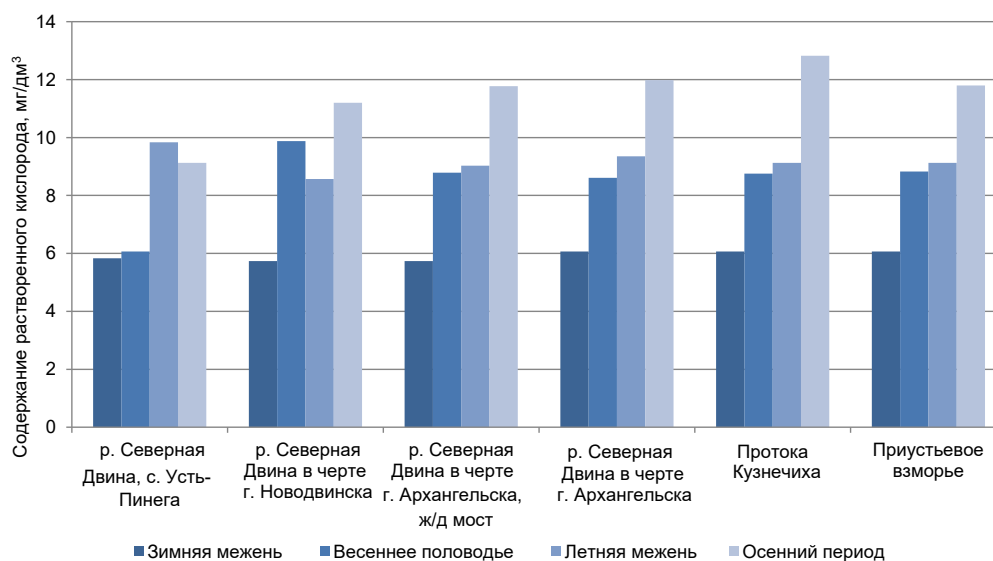


Рис. 3. Изменение средней концентрации растворенного кислорода в нижнем течении р. Северной Двины по гидрологическим сезонам 2019 г.

В период весеннего половодья концентрация растворенного кислорода увеличилась на всех участках отбора проб. На участках в черте г. Архангельска (железнодорожный мост), протоке Кузнечиха и приустьевом взморье распределение содержания растворенного кислорода было однородным и составляло в среднем 8,75 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальное его значение было зафиксировано на участке в черте г. Новодвинска и составило 9,88 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальное содержание растворенного кислорода отмечалось в летний и осенний периоды.

Изменение величины процентного насыщения вод кислородом поверхностного слоя связано в основном с продукционными процессами и имеет выраженную сезонную изменчивость. Максимум растворенного кислорода на всех обследованных участках акватории наблюдался в летний период (96 %), что связано с цветением фитопланктона. Осенью содержание кислорода повсеместно уменьшалось. Минимальное значение (40 %) наблюдалось в зимний период из-за прекращения поступления кислорода из атмосферы в связи с установлением ледостава (рис. 4).

Известно, что концентрации минеральных соединений биогенных элементов в поверхностном слое подвержены значительным пространственно-временным изменениям. Содержание нитратов в водных объектах изменяется в довольно

широких пределах и сильно отличается в осенний, зимний и летний периоды. Так, летом благодаря потреблению нитратов растениями их содержание в водных объектах не превышает сотых долей мг/л, а в остальные периоды их количество значительно возрастает [14]. Предельное значение содержания нитратов не должно превышать 9100 мкгN/л согласно нормативам [7] предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения. Концентрации нитратов достигают максимума в конце гидрологической зимы за счет восстановления при регенерации органической материи и конвективного перемешивания с нижележащими водами [3]. С началом вегетационного периода в результате жизнедеятельности фитопланктона наблюдается уменьшение количества нитратов в воде. Летом снижение их концентрации продолжается, достигая минимума в конце июля – начале августа. Осенью количество нитратов постепенно увеличивается, и максимальные их концентрации фиксируются в конце зимы.

По полученным нами результатам концентрация нитратов значительно ниже указанного выше норматива. Максимальные их значения были отмечены в зимний период на участках в черте г. Архангельска (320 мкгN/л) и в черте г. Новодвинска (328 мкгN/л), так как в зимний период

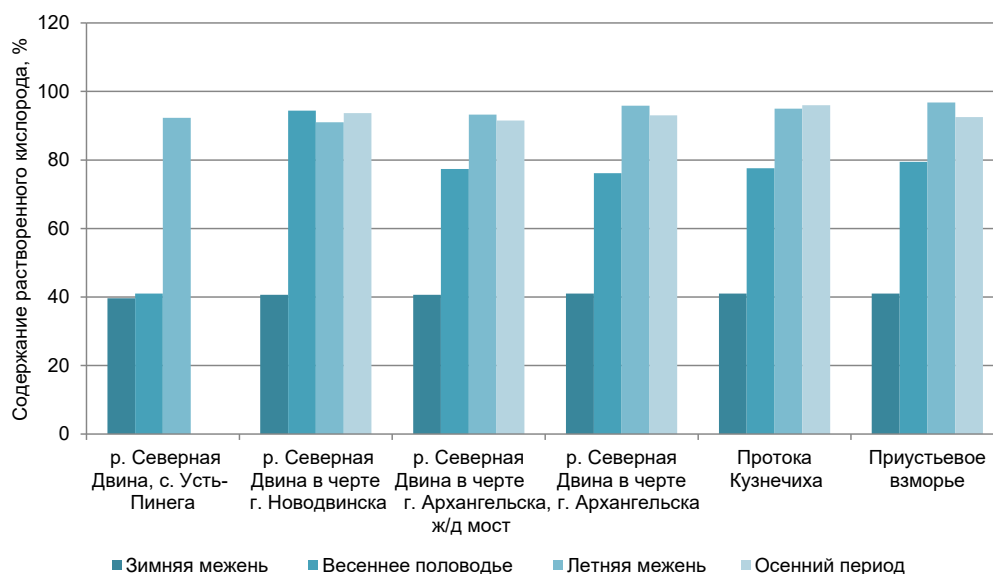


Рис. 4. Изменение средней концентрации растворенного кислорода в нижнем течении р. Северной Двины по гидрологическим сезонам 2019 г.

при наименьшем потреблении азота происходит разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные. Несколько ниже их концентрация наблюдалась на участке около с. Усть-Пинеги, составляя в среднем 292 мкгN/л. В период весеннего половодья количество нитратов заметно уменьшалось в результате потребления водными растениями. На участках в черте Архангельска (железнодорожный мост) и протоке Кузнечиха распределение нитратов было достаточно однородным и составляло в среднем 242 мкгN/л. Максимальное содержание нитратов в весенний период было зафиксировано на участке Северной Двины в черте Архангельска (336 мкгN/л). В течение вегетационного периода на всех участках анализируемой акватории концентрации нитратов уменьшались. Минимальные их значения отмечены в осенний период повсеместно, что, вероятнее всего, связано с увеличением массы воды из-за продолжительных дождей в это время. Их концентрация не превышала 87 мкгN/л (рис. 5).

Нитратный ион является промежуточным продуктом микробного окисления аммиака или восстановления до нитратных ионов. В водах нитриты переходят в нитраты, и их наличие в воде обычно минимально, а в то же время по-

вышенные дозы нитритов в воде указывает на ее загрязнение [14].

В период проведения исследований концентрация нитритов из-за их нестойкости была очень незначительной. В зимний период на участках в черте городов Новодвинска и Архангельска распределение нитритов было однородным и составляло в среднем 3,08 мкгN/л. Более низкая их концентрация наблюдалась на участке около с. Усть-Пинеги, составляя в среднем 2,37 мкгN/л. В весенний период их содержание увеличивалось до 3,31 мкгN/л. Максимальная концентрация была отмечена на участке приустьевого взморья в летний период (6,00 мкгN/л), когда усиливался распад органического вещества. Уменьшение содержания нитритов фиксировалось в осенний период. Согласно существующим нормативам [7] критический уровень, равный 20 мкгN/дм<sup>3</sup>, не был превышен ни в одной из анализируемых проб (рис. 6).

В результате жизнедеятельности организмов в грунтовых водах появляются ионы аммония и аммиак. Ионы аммония (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) в поверхностных водах появляются в незначительном количестве в вегетационный период, что связано с разложением белковых веществ, и в столь низкой концентрации они не являются ядовитыми для рыб. Аммиак образуется в анаэробной среде при

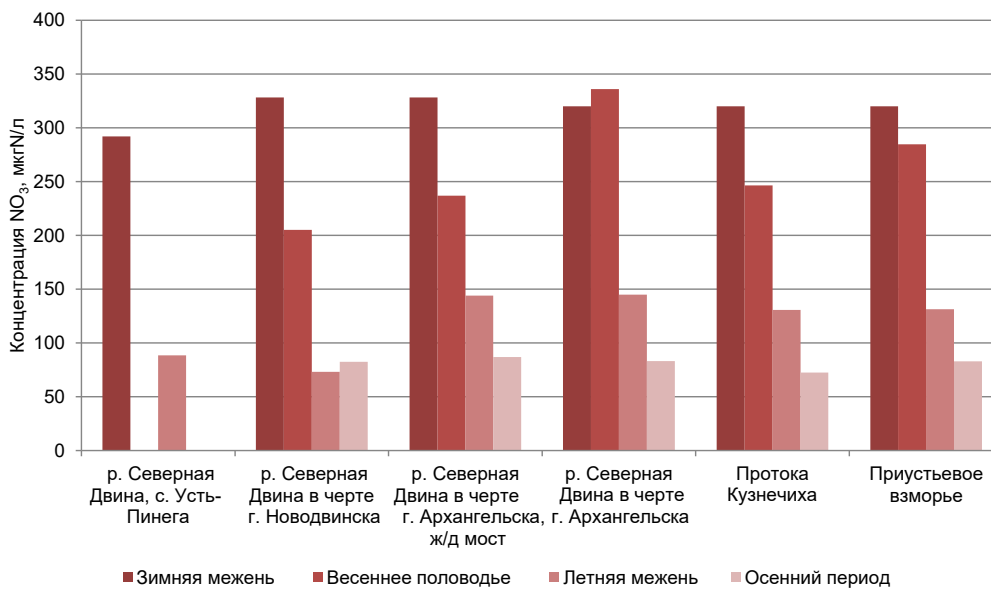


Рис. 5. Изменение средней концентрации нитратов в нижнем течении р. Северной Двины по гидрологическим сезонам 2019 г.

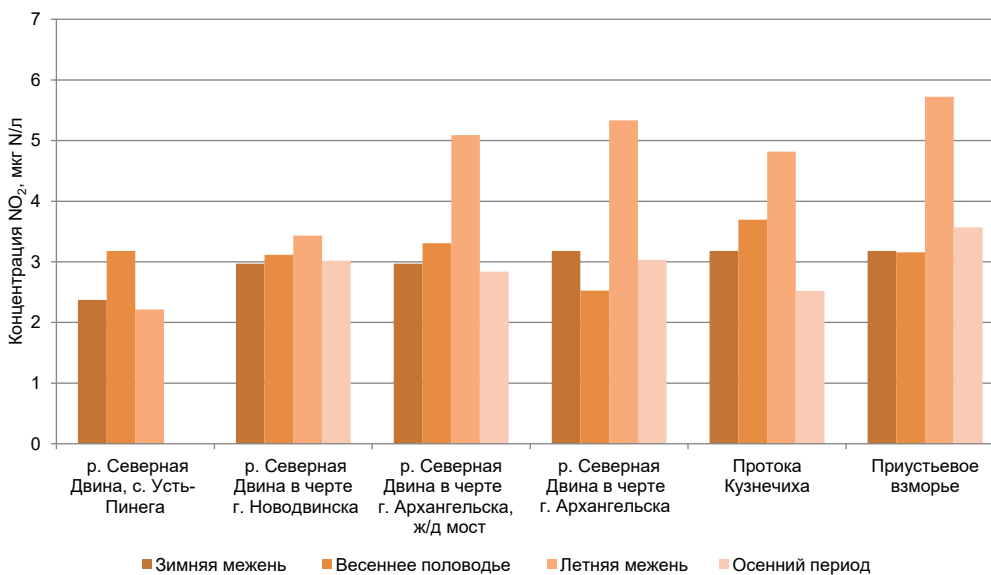


Рис. 6. Изменение средней концентрации нитритов в нижнем течении р. Северной Двины по гидрологическим сезонам 2019 г.

восстановлении нитратов. На его содержание в водоемах и водостоках влияет деятельность нитрифицирующих бактерий с одновременным образованием нитратов. Спуск бытовых, сточных и некоторых промышленных вод приводит к максимальному значению аммиака в поверхностных водах [9]. Отравление содержащими аммиак сточными водами происходит из-за присут-

ствия в воде свободного аммиака. Процент диссоциации свободного аммиака из солей аммония в растворе зависит от величины водородного показателя: при повышении содержания водородного показателя в растворе равновесие сдвигается в сторону образования свободного аммиака. В концентрации 0,2–1 мг/л он токсичен для большинства рыб. Под воздействием токсических концен-

траций аммиака происходит гибель рыбы. Минимальной концентрацией ионов аммония, вызывающей гибель различных чувствительных видов рыб, следует считать 0,5–1 мг/л [9].

По полученным нами данным в нижнем течении Северной Двины максимальные концентрации аммонийного азота отмечались в зимний период на участках в черте с. Усть-Пинеги (40,0 мкгN/л) и в черте Архангельска (33,6 мкгN/л), что связано с процессами минерализации органического вещества, образовавшегося вследствие фотосинтеза. В весенние половодье и летнюю межень содержание аммонийного азота снижалось на всех участках в результате ассимиляции растениями (до 10,8 мкгN/л). Осенью, наоборот, содержание его увеличивалось на всей исследованной акватории и колебалось в диапазоне от 20,84 до 33,52 мкгN/л в результате усиления процесса распада органического вещества, накопившегося за лето (рис. 7).

В соответствии с нормативами [7] ПДК вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения содержание аммонийного азота в водах не должно превышать 400 мкгN/дм<sup>3</sup>. По полученным авторами результатам содержание в воде аммонийного азота на исследованных участках значительно ниже установленной ПДК.

Фосфор является одним из важнейших биогенных элементов, но высокая концентрация

его солей может ограничивать развитие жизни в водоеме. Фосфатный фосфор легко усваивается макрофитами и микроводорослями, поэтому в летний период в поверхностных слоях концентрация минерального фосфора незначительнее, чем в придонных. Повышение содержания фосфатов до нескольких мг/л указывает, как правило, на загрязнение данного водоема [14]. Повышенные концентрации фосфора действуют неблагоприятно на рыб и даже могут вызывать отравление [9]. Соотношение интенсивности процессов фотосинтеза и биохимического окисления органических веществ оказывает влияние на содержание фосфатов в изучаемых водных объектах. Как и другие биогенные элементы, оно подвержено существенным природным колебаниям.

Изменение содержания фосфатов в нижнем течении Северной Двины в поверхностном горизонте воды носит четко выраженный характер, складывающийся под влиянием сезонности вегетативных процессов и гидрологических факторов. В зимнюю межень для всех исследуемых районов наблюдаются максимальные концентрации фосфатов в водной толще, связанные с минерализацией органического вещества. В данный период исследования средняя концентрация фосфатов для участка в черте г. Новодвинска составила 33,18 мкгP/л, в черте г. Архангельска — 30,33 мкгP/л, у с. Усть-Пинега — 4 мкгP/л.

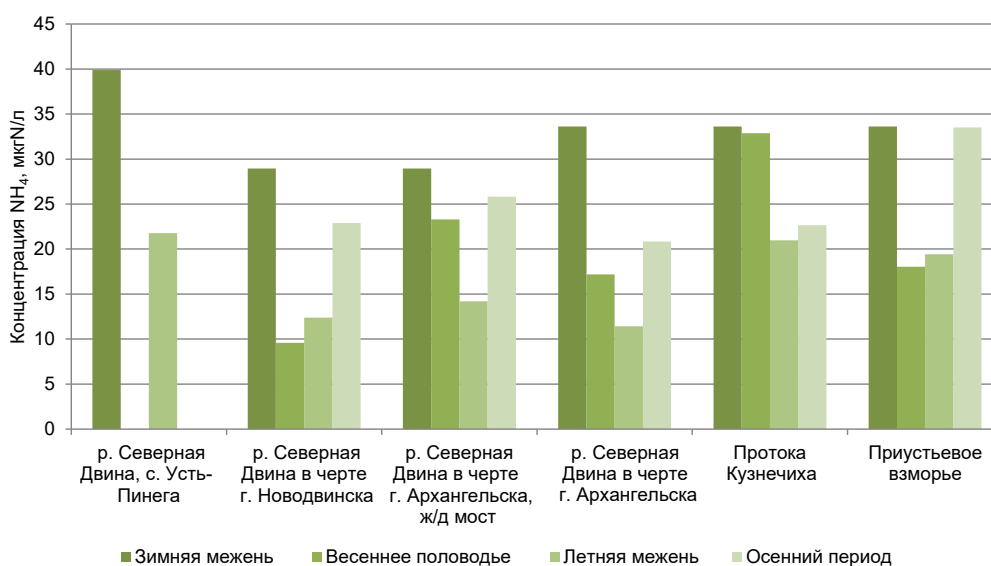


Рис. 7. Изменение средней концентрации аммонийного азота в нижнем течении р. Северной Двины по гидрологическим сезонам 2019 г.

Максимальную концентрацию фосфатов можно выделить зимой, что связано с незначительным потреблением фосфатов фитоценозом в противовес сильному выносу из подстилающих слоев биогенных веществ. В период весеннего паводка концентрация фосфатов повсеместно снижалась из-за начинающегося их потребления в процессе фотосинтеза и изменялась от 12,2 до 20,2 мкгР/л. Минимальное содержание фосфатов было зафиксировано в летнею межень и осенний период, что объясняется интенсивным освоением фосфатов в процессе фотосинтеза. В летний период их концентрация варьировала в диапазоне от 10,9 до 18,3 мкгР/л, в осенний период — от 5,2 до 11,7 мкгР/л (рис. 8). Пониженное содержание фосфатов в осенний период, вероятно, связано с увеличением массы воды из-за продолжительных дождей в это время. Согласно нормативам [7] ПДК загрязняющих веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения содержание фосфатов не должно превышать 50 мкг/дм<sup>3</sup> — данный норматив в исследуемом нами районе также не превышен.

Кремний обычно присутствует в природных водах в виде минеральных и органических соединений. Кремнекислые соли, так же, как и соли других биогенных элементов, являются питательными солями для водных организмов. После их отмирания часть кремния минерализуется

и вновь усваивается организмами [9]. Содержание кремния в водных объектах рыбохозяйственного значения не нормируется.

Исходя из полученных данных, содержание в воде кремния в исследуемых пробах воды отражает выраженный сезонный характер его распределения в нижнем течении Северной Двины. Для солей кремния характерен выраженный сезонный ход с зимним максимумом и летним минимумом. Максимальная концентрация (6576 мкг/л) этого элемента наблюдалась в зимний период на участке Северная Двина–Усть-Пинега. По всей видимости, это было связано с увеличением роли грунтовых вод в питании реки, богатых биогенными веществами, когда процессы формирования фитопланктона незначительны. На участках в городской черте городов Новодвинска и Архангельска распределение кремния было достаточно однородным и составляло в среднем 5128 мкг/л. В весенне-летний период концентрация кремния повсеместно снижалась до 2390 мкг/л из-за высокой интенсивности процессов фотосинтеза. Минимальные значения кремния были отмечены в осенний период на всех участках, что связано с большим разбавлением водной толщи из-за продолжительных дождей в данный период (рис. 9).

Нефтяное загрязнение токсично для всех гидробионтов, включая рыб, особенно на ранних стадиях онтогенеза и влечет за собой поражение

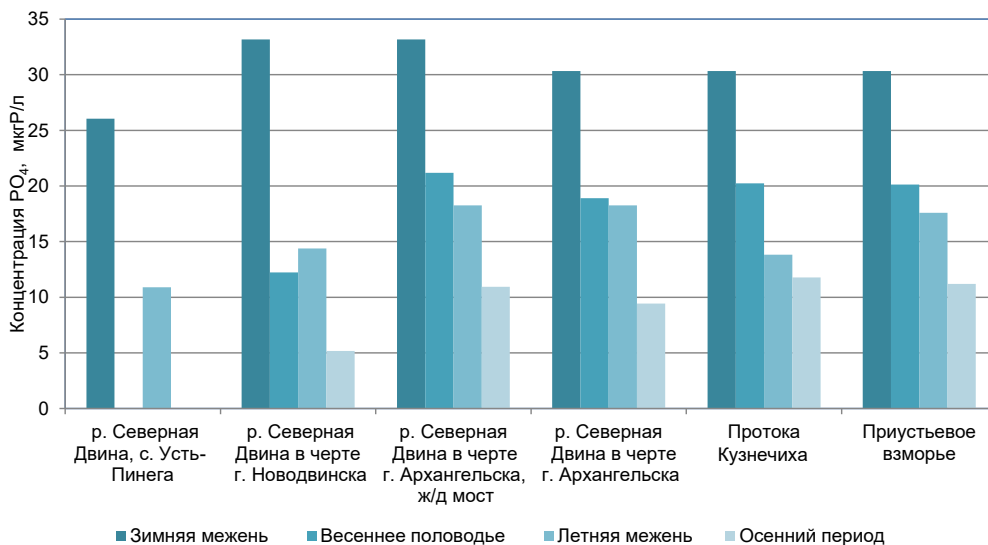


Рис. 8. Изменение средней концентрации фосфатов в нижнем течении р. Северной Двины по гидрологическим сезонам 2019 г.

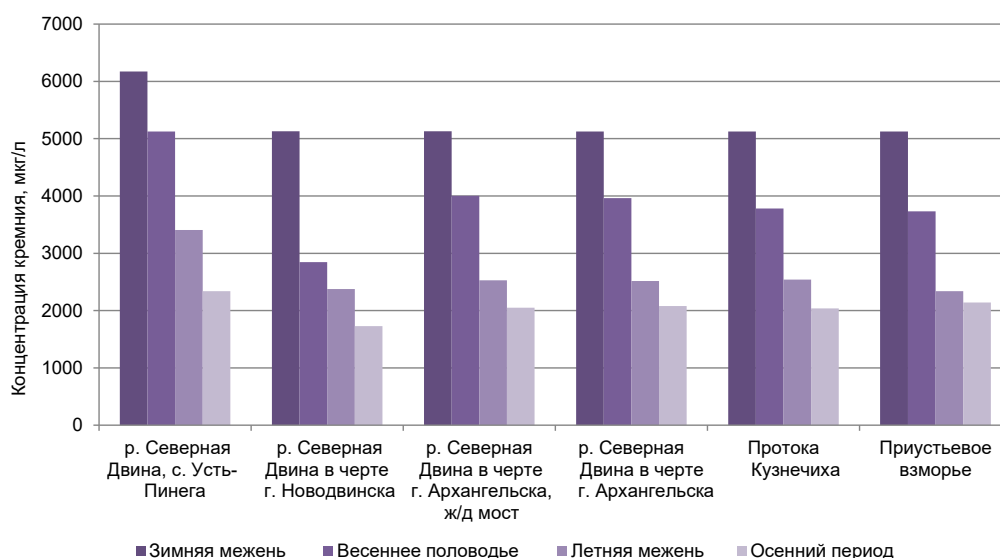


Рис. 9. Изменение средней концентрации кремния в нижнем течении р. Северной Двины по гидрологическим сезонам 2019 г.

центральной нервной системы, печени, снижение защитных и двигательных функций, поведенческих реакций и т. д. [1, 6, 11, 19]. Например, при превышении в воде ПДК нефтепродуктов в 15 раз подавляется воспроизводительная система рыб, плодовитость самок каждого последующего поколения уменьшается на 10 %, а далее на 30–50 %. Значительная часть нефтепродуктов может поступать непосредственно в водные объекты. Источниками этого вида загрязнения являются судоходство, перевозка нефти и нефтепродуктов водным путем, нередко сопровождаемая авариями, сбросами сточных вод промышленных предприятий, атмосферными выпадениями, дампингом загрязненных грунтов [12].

Сезонные колебания содержания нефтепродуктов в водах Северной Двины формируются под влиянием различных факторов, среди которых следует выделить техногенное влияние, включая судоходство, речной сток, метеорологические, гидрологические процессы. Сезонная изменчивость концентрации нефтяных углеводородов характеризуется наличием двух максимумов — в мае, в период весеннего половодья на реках прилегающей территории, и в октябре, когда на реках отмечается осенний дождевой паводок.

Содержание нефтепродуктов в зимний период на участках в черте Архангельска и Новодвинска

составляло в среднем 0,025 мг/дм<sup>3</sup>. Несколько ниже их концентрация наблюдалась возле Усть-Пинеги, составляя в среднем 0,010 мг/дм<sup>3</sup>. В период весеннего половодья содержание нефтепродуктов в исследуемом районе изменялось незначительно — от 0,012 до 0,022 мг/дм<sup>3</sup>. В летний период максимальная концентрация нефтепродуктов 0,049 мг/дм<sup>3</sup> наблюдалась в черте Архангельска (железнодорожный мост) при среднем ее значении 0,039 мг/дм<sup>3</sup>. Если рассматривать акваторию нижнего течения Северной Двины в целом, можно говорить о том, что в среднем загрязненность поверхностных вод нефтепродуктами также не превышает рыбохозяйственного норматива — 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 10) [7].

Исключение составил участок в районе железнодорожного моста, где наблюдалось незначительное превышение ПДК (0,077 мг/дм<sup>3</sup>) в осенний период, что может быть связано с повышенной антропогенной нагрузкой. Также повышенные концентрации нефтепродуктов периодически были зафиксированы на участках в черте Архангельска и протоке Кузнечиха.

Следует отметить, что содержание нефтепродуктов в донных отложениях российскими нормативными документами не регламентируется. Согласно литературным источникам [12], сублетальные и пороговые эффекты для гидробионтов по нефтепродуктам проявляются при



Рис. 10. Изменение средней концентрации нефтепродуктов в водах нижнего течения р. Северной Двины по гидрологическим сезонам 2019 г.

их концентрации в воде от 1 мкг/л; в донных отложениях — от 10 до 100 мкг/г. Пространственное распределение нефтепродуктов в донных отложениях Северной Двины неоднородно. Как показали исследования, загрязненность донных отложений нефтепродуктами зависит от сорбционной способности и физических свойств самих отложений, которые на исследованных участках представлены в основном в виде мелкозернистого песка и илистым песком.

Концентрации нефтепродуктов в донных отложениях исследованных районов изменялись в широком диапазоне. Минимальное их значение (1,68 мг/кг) было выявлено на участке Северной Двины возле Усть-Пинеги в зимний период, где донные отложения представлены в виде крупнозернистого песка. Максимальное значение (54,78 мг/кг) было зафиксировано в районе железнодорожного моста в осенний период. При этом необходимо отметить тенденцию увеличения содержания нефтепродуктов в донных отложениях к осеннему периоду на всех исследованных участках отбора проб (рис. 11).

#### Заключение

Проведение комплексного мониторинга среды обитания в части химических составляющих экосистемы нижнего течения р. Северной Двины позволило выявить основные характеристики ее современного состояния. Установлено, что концентрации солей фосфора, азота и кремния за

весь период наблюдений не превысили предельно допустимых значений для рыбохозяйственных водоемов. Содержание нефтяных углеводородов на большинстве исследованных станций также оставалось в границах ПДК. Повышенные концентрации нефтяных углеводородов были зафиксированы на участках в черте Архангельска и в протоке Кузнечиха, а также в районе пересечения реки полотном железнодорожного моста. Все эти районы являются зонами промышленной и транспортной активности и, как следствие, местами локальных загрязнений. Отмечен также факт накопления нефтепродуктов в речном грунте. При этом большее их содержание зафиксировано в иловых отложениях, меньшее — в песчаных. Концентрации растворенного кислорода в водах Северной Двины в период исследований колебались в рамках сезонной изменчивости (с максимальными значениями летом и минимальными зимой). Случаев снижения его величины ниже уровня ПДК (т. е. проявления заморных явлений) не было отмечено ни на одной точке мониторинга.

#### Финансирование

Работы проведены в ходе выполнения государственного задания по теме: «Исследование закономерностей формирования пресноводной ихтиофауны Европейского северо-востока России в условиях меняющегося климата и воздействия антропогенных факторов» № 0332-

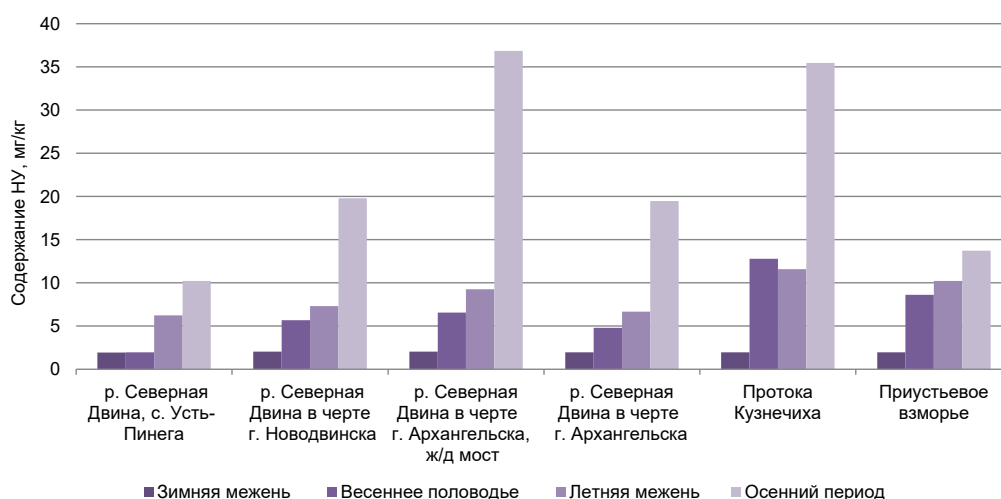


Рис. 11. Изменение средней концентрации нефтепродуктов в донных отложениях в нижнем течении р. Северной Двины по гидрологическим сезонам 2019 г.

2019-0001 № гос. регистрации № АААА-А19-119011690119-9 и частично гранта РФФИ – проект № 18-05-01041 «Биогеохимические процессы на границе раздела река – море в Европейской субарктике: экосистемный подход».

#### Литература

- Богданов, В. Д., Богданова, Е. Н. и Басов, Б. М. (2000). Влияние трубопроводов, проложенных через водотоки, на водные экосистемы нижней Оби. В: Материалы международного семинара «Охрана водных ресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутренних водных объектах Российской Федерации». М., сс. 19–22.
- Бреховских, В. Ф., Волков, З. В. и Колесниченко, Н. Н. (2003). Проблемы качества поверхностных вод в бассейне Северной Двины. М.: Наука, 233 с.
- Глуховский, Б. Х. (1991). Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 2. Белое море. Л.: Гидрометеоздат, 240 с.
- Государственный комитет СССР по стандартам (1980). ГОСТ 17.1.5.01–80 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М.: ИПК Издательство стандартов, 7 с.
- Государственный комитет СССР по стандартам (1982). ГОСТ 17.1.3.08–82. Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Правила контроля качества морских вод. М.: ИПК Издательство стандартов, 6 с.
- Кабанова, Ю. Г. (1997). Влияние нефтяных загрязнений на организмы, обитающие в природных водах. М.: Институт океанологии РАН, 34 с.
- Кодификация РФ (2020). Приказ Минсельхоза РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов

рыбохозяйственного значения». [online] Доступно по ссылке: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-13.12.2016-N-552> [Дата обращения: 25.04.2020].

- Кузнецов, В. С., Мискевич, И. В. и Зайцева, Г. Б. (1991). Гидрохимическая характеристика крупных рек бассейна Северной Двины. Л.: Гидрометеоздат, 195 с.

- Метелев, В. В., Канаев, А. И. и Дзасохова, Н. Г. (1971). Водная токсикология. М.: Колос, 247 с.

- Министерство природных ресурсов Российской Федерации (1998). ПНД Ф 16.1:2.21-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат -2». Издание 2007 г. М.: ФГУ Центр экологического контроля и анализа, 26 с.

- Московченко, Д. В. (1998). Нефтедобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. Новосибирск: Наука, 112 с.

- Никаноров, А. М. и Страдомская, А. Г. (2008). Проблемы нефтяного загрязнения пресноводных экосистем: монография. Ростов н/Д.: НОК, 222 с.

- Никаноров, А. М., Соколова, Л. П., Решетняк, О. С., Кондакова, М. Ю. и Даниленко, А. О. (2010). Антропогенная нагрузка на устьевую область р. Северная Двина. Метеорология и гидрология, № 4, сс. 75–84.

- Привезенцев, Ю. А. (1973). Гидрохимия пресных водоемов. М.: Пищевая промышленность, 119 с.

- Сапожников, В. В. (ред.) (2003). Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 202 с.

- Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (1995). ПНД Ф 14.1:2.4–95. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой. Издание 2011 г. М.: ФБУ ФЦАО, 18 с.

17. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (1998). ПНД Ф 14.1:2.4.128-98. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных (включая морские), питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». Издание 2012 г. М.: ФБУ ФЦАО, 35 с.

18. Флоров, А. К. (ред.) (1995). Состояние окружающей природной среды Северо-Западного и Северного регионов России. СПб.: Наука, 125 с.

19. Jankevičius, K., Pakalnis, R., Baranauskene, A., Juknevičius, L. ir Jankevičiūtė, G. (1992). Baltijos jūros naftos taršos įtaka planktoninių organizmų gyvenimui ir hidrobakterijų vaidmuo savaiminio apšalymo jūrų vandenyse metu. *Ekologija*, Nr. 4, cc. 1–6.

### References

1. Bogdanov, V. D., Bogdanova, Ye. N. and Basov, B. M. (2000). Influence of pipelines laid via watercourses on aquatic ecosystems of the lower Ob. In: Proceedings of the International Workshop "Protection of water resources under the conditions of intensive development of oil and gas fields in the shelf area and inland water bodies of the Russian Federation". Moscow, pp. 19–22.

2. Brekhovskikh, V. F., Volkov, Z. V. and Kolesnichenko, N. N. (2003). Surface water quality issues in the Northern Dvina basin. Moscow: Nauka, 233 p.

3. Glukhovskiy, B. Kh. (1991). Hydrometeorology and hydrochemistry of the USSR seas. Vol. 2. White Sea. Leningrad: Gidrometeoizdat, 240 p.

4. State Committee of the USSR for Standards (1980). State Standard GOST 17.1.5.01-80 (1980). Nature protection. Hydrosphere. General requirements for sampling of bottom sediments of water objects for their pollution analysis. Moscow: IPK Izdatelstvo Standartov, 7 p.

5. State Committee of the USSR for Standards (1982). State Standard GOST 17.1.3.08-82. Nature protection. Hydrosphere. Procedures for quality control of marine waters. Moscow: IPK Izdatelstvo Standartov, 6 p.

6. Kabanova, Yu. G. (1997). Effect of oil pollution on organisms living in natural waters. Moscow: Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, 34 p.

7. Codification in the Russian Federation (2020). Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 552 dd. December 13, 2016 "Concerning approval of water quality standards for fishery water bodies, including maximum permissible concentrations of hazardous substances in waters of fishery water bodies". [online] Available at: [https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot\\_12/13/2016-N-552](https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot_12/13/2016-N-552) [Date accessed 25.04.2020].

8. Kuznetsov, V. S., Miskevich, I. V. and Zaytseva, G. B. (1991). Hydrochemical characteristics of large rivers of the Northern Dvina basin. Leningrad: Gidrometeoizdat, 195 p.

9. Metelev, V. V., Kanayev, A. I. and Dzasokhova, N. G. (1971). Aquatic toxicology. Moscow: Kolos, 247 p.

10. Ministry of Natural Resources of the Russian Federation (1998). Regulatory document for nature protection (federative) PND F 16.1: 2.21-98. Quantitative chemical analysis of soil. Methodology for measuring the mass fraction of oil products in samples of soils and grounds by means of the fluorimetric

method using a Fluorat-02 liquid analyzer. 2007 edition. Moscow: Federal State Institution "Center for Environmental Monitoring and Analysis", 26 p.

11. Moskovchenko, D. V. (1998). Oil production and the environment: environmental and geochemical analysis of the Tyumen Region. Novosibirsk: Nauka, 112 p.

12. Nikanorov, A. M. and Stradomskaya, A. G. (2008). Problems of oil pollution of freshwater ecosystems. Monograph. Rostov-on-Don: NOK, 222 p.

13. Nikanorov, A. M., Sokolova, L. P., Reshetnyak, O. S., Kondakova, M. Yu. and Danilenko, A. O. (2010). Anthropogenic load on the estuarine area of the Northern Dvina River. *Meteorologiya i Gidrologiya*, No. 4, pp. 75–84.

14. Privezentsev, Yu. A. (1973). Hydrochemistry of freshwater bodies. Moscow: Food Industry, 119 p.

15. Sapozhnikov, V. V. (ed.) (2003). Guidance on the chemical analysis of marine and fresh waters during the environmental monitoring of fishery water bodies and areas promising for fishing in the World Ocean. Moscow: Publishing House of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 202 p.

16. Federal Service for Supervision of Natural Resources (1995). Regulatory document for nature protection (federative) PND F 14.1: 2.4-95. Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass fraction of nitrate ions in drinking, surface and waste waters using the photometric method with salicylic acid. 2011 edition. Moscow: Federal State-Funded Institution "Federal Center for Analysis and Evaluation of Anthropogenic Impact", 18 p.

17. Federal Service for Supervision of Natural Resources (1998). Regulatory document for nature protection (federative) PND F 14.1: 2: 4.128-98. Quantitative chemical analysis of water. Method for measuring the mass concentration of oil products in samples of natural (including marine), drinking, and waste waters by means of the fluorimetric method using a Fluorat-02 liquid analyzer. 2012 edition. Moscow: Federal State-Funded Institution "Federal Center for Analysis and Evaluation of Anthropogenic Impact", 35 p.

18. Florov, A. K. (ed.) (1995). State of the environment in the North-Western and Northern regions of Russia. Saint Petersburg: Nauka, 125 p.

19. Jankevičius, K., Pakalnis, R., Baranauskene, A., Juknevičius, L. and Jankevičiūtė, G. (1992). The influence of oil pollution of the Baltic Sea on the activity of planktonic organisms and the role of hydrobacteria in the self-purification of sea waters. *Ecology*, No. 4, pp. 1–6.

### Авторы

#### Климовский Николай Владимирович

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Россия

E-mail: klimovskiy.nikolay@yandex.ru

#### Матвеев Николай Юрьевич

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Россия

E-mail: matveevaann@mail.ru

**Новоселов Александр Павлович**, д-р биол. наук  
Федеральный исследовательский центр комплексного  
изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова  
Уральского отделения Российской академии наук,  
г. Архангельск, Россия  
E-mail: alexander.novoselov@rambler.ru

**Authors**

**Klimovskiy Nikolay Vladimirovich**  
Federal Center for Integrated Arctic Research RAS,  
Arkhangelsk, Russia

E-mail: klimovskiy.nikolay@yandex.ru

**Matveev Nikolay Yuryevich**  
Federal Center for Integrated Arctic Research RAS,  
Arkhangelsk, Russia  
E-mail: matveevaann@mail.ru

**Novoselov Alexander Pavlovich, Dr. of Biology**  
Federal Center for Integrated Arctic Research RAS,  
Arkhangelsk, Russia  
E-mail: alexander.novoselov@rambler.ru