

Оценка экологического состояния реки Сояна в зоне возможного воздействия алмазоносного месторождения

© 2023. Н. В. Климовский, к. г. н., с. н. с.,
А. П. Новоселов, д. б. н., г. н. с., Н. Ю. Матвеев, м. н. с.,
Федеральный исследовательский центр
комплексного изучения Арктики им. Академика Н. П. Лаверова УрО РАН,
163020, Россия, г. Архангельск, пр. Никольский, д. 20,
e-mail: Klimovskiy.nikolay@yandex.ru

Впервые представлены результаты комплексного исследования реки Сояна в среднем течении. Приведены характеристики гидрологических и гидрохимических показателей, полученных по результатам наблюдений в июле 2020 и марте 2021 гг. Показаны изменения водородного показателя (рН), минерализации, содержания растворённого в воде кислорода, биогенных элементов, а также нефтяных углеводородов в воде и донных отложениях. Оценено соответствие полученных параметров нормативным требованиям к качеству речных вод. Установлено, что по химическому составу воды реки Сояны относятся к гидрокарбонатному классу малой и средней минерализации (164–296 мг/л), слабокислотному и слабощелочному типу (рН 6,0–8,2). Полученные результаты позволяют сделать заключение об отсутствии заметного антропогенного воздействия на рассматриваемый водоток: содержание нефтяных углеводородов в речных водах не превышало 0,010 мг/л, в донных отложениях диапазон составлял – от 0,2 до 3,2 мг/кг, что не превышало предельно допустимых концентраций. Максимальное содержание нефтяных углеводородов в грунтах было зафиксировано в нижнем течении реки, где донные отложения представлены в виде илистого песка. Оценена межгодовая изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик в направлении от истока к устью реки, а также уточнена взаимосвязь и закономерность их распределения. Полученные данные могут быть использованы в качестве фоновых для оценки негативного воздействия в случае антропогенной нагрузки на речной бассейн.

Ключевые слова: добыча алмазов, река Сояна, растворённый кислород, водородный показатель, биогенные элементы, нефтяные углеводороды, донные отложения.

The ecological status of the Soyana River in the zone of possible impact of a diamond deposit

© 2023. N. V. Klimovskiy ORCID: 0000-0002-2862-1701¹
A. P. Novoselov ORCID: 0000-0001-9501-8120², N. Yu. Matveev ORCID: 0000-0001-8220-4063³
N. P. Laverov Federal Research Center for Integrated
Arctic Research of the Ural Branch Academy of Science,
20, Nikolsky Prospekt, Arkhangelsk, Russia, 163020,
e-mail: Klimovskiy.nikolay@yandex.ru

The article presents the results of a comprehensive study of the Soyana River for the first time. The characteristics of hydrological and hydrochemical parameters were obtained while observations in July 2020 and March 2021. Changes in the hydrogen index (pH), mineralization, and the content of dissolved oxygen and biogenic elements in water, as well as petroleum hydrocarbons in water and bottom sediments were studied using generally accepted in hydrochemical practice methods. The data obtained were evaluated for compliance with the regulatory requirements for the river water quality. According to the chemical composition, the Soyana River water belongs to the hydrocarbonate class of small and medium mineralization (164–296 mg/L), weakly acidic and slightly alkaline type (pH 6.0–8.2). The data obtained allow us to conclude that there is no noticeable anthropogenic impact on the considered watercourse. The petroleum hydrocarbons content in water and bottom sediments was below maximum permissible concentrations. In river water it was below 0.010 mg/L, in bottom sediments – in the range from 0.2 to 3.2 mg/kg. The maximum content of petroleum hydrocarbons in soils was recorded in the lower course of the river, where bottom sediments are presented in the form of silty sand. The interannual variability of hydrological and hydrochemical characteristics in the direction from the source to the mouth of the river is estimated. The relationship and regularity of their distribution was specified. The data obtained can serve as background data for assessing the negative impact in case of anthropogenic load on the river basin.

Keywords: diamond mining, Soyana River, dissolved oxygen, pH, biogenic elements, petroleum hydrocarbons, bottom sediments.

Мониторинг состояния поверхностных вод в пределах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) приобретает всё большую значимость в связи с возрастающим антропогенным воздействием на природную среду [1–3].

За последнее десятилетие многочисленные публикации в научных журналах были посвящены исследованиям разработки месторождений алмазов и воздействия на окружающую среду [4–11]. География алмазодобывающей деятельности расширилась и за счёт Архангельской области, на территории которой активно ведутся работы по разведке, оценке производственных мощностей и промышленной разработке месторождений. Одной из отличительных особенностей кимберлитовых пород Архангельского месторождения алмазов является интенсивное омыление [12], что создаёт дополнительные проблемы, связанные с негативным воздействием на окружающую среду при эксплуатации этих пород.

Известно, что разработка месторождений сопровождается активным воздействием на окружающую природную среду региона, которая характеризуется рядом уникальных особенностей, требующих особого внимания и контроля в процессе промышленного производства. Район месторождений характеризуется богатой флорой и фауной, речная система р. Сояна относится к водным объектам высшей категории как лососевая нерестовая река. Характерной особенностью района является нахождение на его территории особо охраняемых природных территорий регионального значе-

ния (Приморский ландшафтный заказник, Соянский биологический заказник), в том числе проектируемых (национальный парк «Беломорско-Кулойское плато»). Этот факт свидетельствует о том, что район месторождения характеризуется сочетанием уникальных природных условий, требует охраны. На данный момент первоочередными задачами экологического сопровождения деятельности алмазодобывающего комплекса, на наш взгляд, являются: системный мониторинг состояния компонентов окружающей среды, оценка их изменения, прогнозирование и предотвращение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, экологическая экспертиза планов и проектов, принимаемых к реализации на месторождении [11].

В работе приводятся материалы исследований, проведённых в период с 2020 по 2021 гг. на речной экосистеме, затронутой косвенно (Соянский бассейн) при освоении алмазоносного месторождения им. В.П. Гриба (рис. 1b). В настоящее время семужье-нерестовая река Сояна пока не находится в зоне непосредственного влияния горно-обогатительного комбината (ГОКа) алмазоносного месторождения им. В.П. Гриба, т. е. сброса неочищенных сточных вод в неё не происходит. Утилизация отработанных вод производится на поверхностных полях фильтрации (болота), выполняющих функцию природного фильтра. В то же время существует риск, что поля фильтрации переполнятся, и недоочищенные сточные воды будут поступать в р. Сояна. В этом случае химический состав воды изменится, и эти изме-

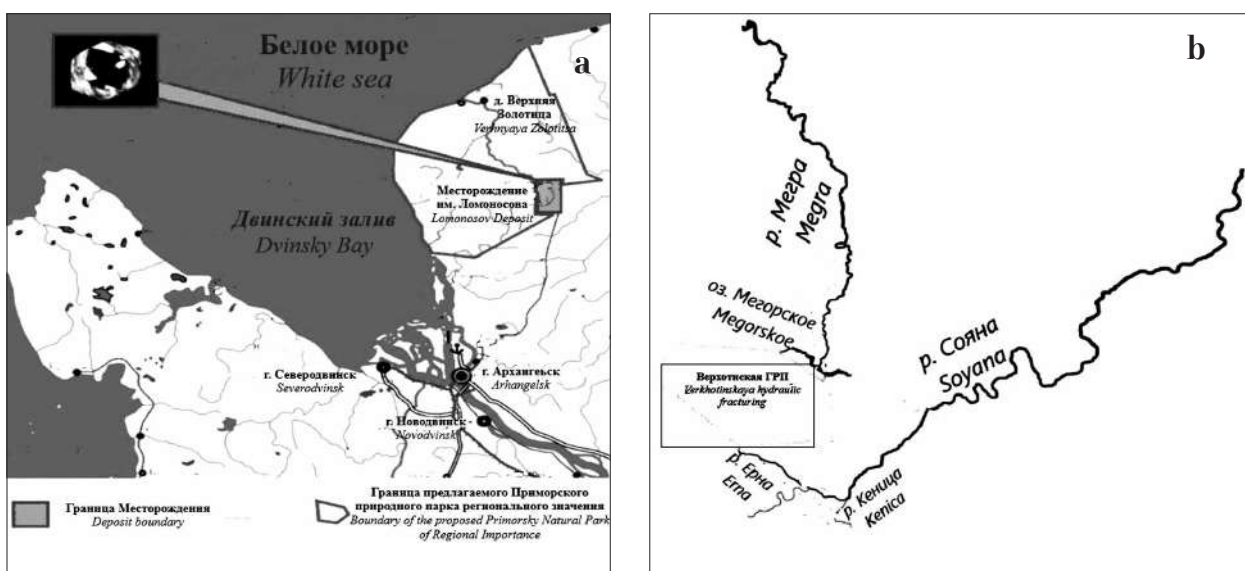


Рис. 1. Месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова (а) и В.П. Гриба (b) в Архангельской области
 Fig. 1. Diamond deposits named after M.V. Lomonosov (a) and V.P. Grib (b) in the Arkhangelsk Region

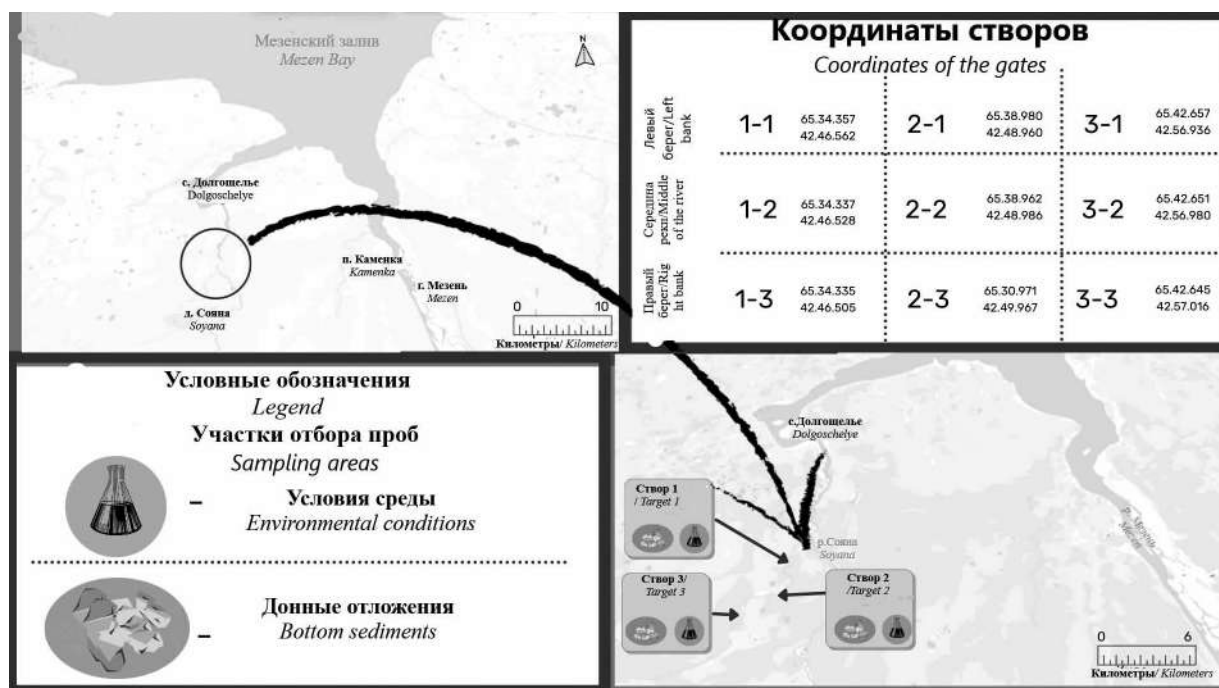


Рис. 2. Карта-схема отбора проб на р. Сояна в июле 2020 и марте 2021 гг.
Fig. 2. Schematic map of sampling on the Soyana River in July 2020 and March 2021

нения можно будет сравнивать с полученными в данной работе результатами.

Пока никаких сбросов в речной бассейн не выявлено, другие потенциальные источники загрязнения можно во внимание не принимать. Это достаточно труднодоступный таёжный район, где сельскохозяйственные угодья практически отсутствуют. Населённый пункт (д. Сояна) находится только в самом устье перед впадением в р. Кулой и не влияет на водоток в целом. Иными словами, приведённый в статье фактический материал может служить отправной точкой при оценке сукцессионных изменений в речной экосистеме в случае поступления в водоток неочищенных (или слабо очищенных) вод с площади водосбора.

Целью работы явилось выявление химических параметров семужье-нерестовой реки Сояна для использования их в качестве фоновых при возможном появлении антропогенной нагрузки и оценки в целом экологического состояния речного бассейна.

Материалы и методы исследования

Месторождение им. В. П. Гриба расположено в 115 км к северу от г. Архангельска и в 25 км к северо-востоку от месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова. Утилизация отработанных вод проводится на поверхностные поля фильтрации (болота) [13], потенциально

участвуя в формировании вод, питающих на площади водосбора семужье-нерестовую реку Сояна.

В данной работе применены общепринятые методики определения основных биогенных элементов и нефтяных углеводородов. Представлены данные по содержанию биогенных элементов в водах, водородному показателю, растворённому кислороду и минерализации, а также по содержанию нефтяных углеводородов в воде и донных отложениях.

Работы выполнялись в русле р. Сояна – в июле 2020 и марте 2021 гг. – в среднем течении. В летний период 2020 г. исследования выполнялись на 3 створах на 3 станциях, в зимнюю межень 2021 г. на 2 створах на 2 станциях. Определение координат мониторинговых станций выполнялось с помощью прибора спутниковой навигации GPS «Garmin». Исследовалось качество воды в реках на основе анализа химического состава воды и донных отложений на предмет промышленного загрязнения поллютантами (рис. 2).

Отбор проб донных отложений в обследованных реках проводили согласно ГОСТ 17.1.5101-80 с использованием дночерпателя Петерсона с площадью захвата 0,025 м². В отобранных пробах определяли нефтепродукты согласно ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 (2012) и ПНД Ф 16.1:2.21-98. Пробы воды согласно ГОСТ 17.1.3.07-82 отбирали с поверхностного

горизонта (0–0,5 м) пластиковым батометром Нискина. Анализировались следующие параметры: температура, рН, минерализация, содержание растворённого кислорода и биогенных элементов (нитритов, нитратов, аммонийного азота, фосфатов, общего азота и фосфора, кремния).

Химические анализы проведены в соответствии с общепринятыми в гидрохимической практике методами [14–16]. Растворённый в воде кислород фиксировали с помощью оксиметра Cond Ox1 3205, активную реакцию среды рН и минерализацию воды определяли с помощью рН-метра 3210 и кондуктометра МАРК-603.

Концентрацию фосфатного (минерального) фосфора определяли методом Морфи-Райли с применением аскорбиновой кислоты в качестве восстановителя. Определение аммонийного азота выполняли по методике Сэджи-Солорзано с гипохлоритом и фенолом, нитритов – методом Бендшнайдера и Робинсона с сульфаниламидом и N-(1-нафтил)этилендиамином. Нитраты определяли фотометрическим методом с салициловой кислотой по ПНД Ф 14.1:2.4. Определение кремния проводили колориметрическим методом Королёва.

Для приведённых параметров в каждом из двух выделенных периодов получены среднее, минимальное, максимальное значения, медиана, стандартное отклонение. Полученные значения сравнивали с предельно допустимыми концентрациями (ПДК).

Результаты и обсуждение

Гидрологические и гидрохимические условия реки Сояны. Водная система бассейна р. Сояна, впадающей в реку Кулой и несущей свои воды в Мезенский залив Белого моря, включает базовый водоток и также систему проточных озёр на площади его водосбора. Водоток образуется от слияния рек Кепина и Котуга, вытекающих из холодных озёр Кепинской системы, является левобережным притоком р. Кулой и имеет длину водотока, равную 140 км. Впадает в неё на 54 км от устья. Площадь водосбора составляет 5860 км². На ней расположено 692 озера общей площадью водного зеркала, равной 58,6 км². Принимает в основное русло 96 притоков общей протяжённостью 270 км [17]. Галечно-каменистые грунты встречаются на всём протяжении реки. Средняя глубина реки – 1,5–4 м, средняя ширина – 60–70 м. Русло в низовье реки прямое, песчано-каменистое, устойчивое. Частично

зарастает высшей водной растительностью. Берега глинистые, задернованные, высокие, устойчивые.

Долина реки имеет трапециевидную форму шириной до 8 км. Её склоны высотой 25–30 м пологие, сложены песчаными грунтами и поросшие хвойным лесом. Пойма водотока двусторонняя, при этом левобережная – неровная, заболоченная, поросшая лесом и кустарником, правобережная – луговая. Питание реки смешанное. Весенний подъём уровня воды начинается в первой декаде мая, при ранней весне – во второй декаде апреля, при поздней – в третьей декаде мая. Весеннее половодье длится от 30 до 70 дней, амплитуда годового колебания уровня воды составляет от 1,8 до 6,5 м [18].

Разработка месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова открытым карьерным способом приводит к изменению гидрологического режима и загрязнению территории. Разработка «Трубки им. В.П. Гриба» также способствует этому явлению и окажет влияние на химический состав воды в реке Сояна, биоразнообразию и природные комплексы.

По полученным нами данным среднее значение водородного показателя в р. Сояна для условий летнего периода 2020 г. составило 7,2 ед. (табл. 2). При этом распределение рН на различных участках реки (створах) было неоднородно. Так, в первом створе воды имели слабощелочные свойства, и значения рН составляли в среднем 8,1. На втором створе значения водородного показателя уменьшились до значений 6,0 с последующим увеличением на 3 створе до значений 7,2 (табл. 1).

В зимний подлёдный период (март 2021 г.) значения рН природной воды исследованной акватории не выходили за пределы нормативных значений и изменялись на разных станциях в пределах от 7,5 до 7,7 (при естественных значениях для речных вод 6,5–8,5).

В распределении растворённых газов (кислорода) и биогенных элементов (соединений азота и фосфора) ключевую роль играют биогеохимические процессы (дыхание гидробионтов, деструкция органического вещества) и антропогенное влияние (смыв с сельскохозяйственных угодий и пр.) [19]. Так, нехватка содержания кислорода в воде влияет на интенсивность обмена веществ рыб, происходит снижение устойчивости ко многим ядам органической и неорганической природы, всё это приводит к нарушению нормальной жизнедеятельности рыб. При 30%-ном насыщении воды кислородом устойчивость

рыб к токсическим веществам уменьшается в 7 раз по сравнению со 100% насыщением. На содержание кислорода в реках влияют физические условия обогащения кислородом (скорость течения, температура воды и т. п.), а также выделение кислорода водными растениями и т. д. [20].

Количество растворённого в воде кислорода в летний период 2020 г. изменялось на разных станциях от 6,7 до 9,1 мг/л, в зимний подлёдный период 2021 г. – от 6,2 до 8,3 мг/л (табл. 1). Количество растворённого в воде кислорода является одним из главных гидрохимических показателей и санитарного состояния водного объекта. В соответствии с нормативами качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения содержание растворённого кислорода не должно быть менее 6,0 мг/л – данный норматив соблюдается для всех исследованных проб.

По степени минерализации воды подразделяются на четыре ступени: малой (до 200 мг/л), средней (200–500 мг/л), повышенной (500–1000 мг/л) и высокой минерализации (более 1000 мг/л) [21]. В летний период 2020 г. минерализация в исследуемом водоёме была однородной и в среднем составляла 194 мг/л (табл. 2). В зимний период 2021 г. минерализация в среднем составляла 282 мг/л. Максимальное значение (296 мг/л) было зафиксировано на 2 створе у левого берега реки (табл. 1). Большое влияние на содержание солей в воде оказывают процессы криогенного концентрирования, когда образование ледяного покрова приводит к повышению концентраций основных ионов. Поэтому по сравнению с летним периодом минерализация воды возросла в 1,2 раза. Исходя из полученных данных, воды р. Сояна можно отнести к группе малой и средней минерализации.

Соединения азота и фосфора имеют важное значение для обитателей водоёмов. Нутриенты являются биологически значимыми элементами, необходимыми для обеспечения нормальной жизнедеятельности живых организмов [22].

Наличие нитритов в пресных водах может свидетельствовать о процессах неполного разложения органики, когда бактериальные сообщества не успевают «обработать» поступающее органическое вещество в силу различных факторов (сильное загрязнение, неблагоприятные условия для развития бактерий). Содержание нитритов в воде, как правило, невелико и приурочено к местам локального загрязнения различного генезиса

[19]. По результатам исследований 2020 г. содержание нитритов составляло ниже предела обнаружения методики определения < 0,5 мкг/л (табл. 1). В зимний период 2021 г. концентрация нитритов в пробах колебалась от аналитического нуля до 2,1 мкгN/л (табл. 1). Максимальные значения были зафиксированы на станциях, расположенных на правом берегу на обоих створах. Имеются данные [22], что максимальные концентрации нитритов наблюдаются в конце лета. Согласно существующим нормативам [23], критический уровень, равный 20 мкг/л, не был превышен ни в одной из проанализированных проб.

Среди минеральных форм азота доминирует нитратная форма. Максимальные концентрации нитратов были зафиксированы в летний период 2020 г. в первом створе и находились в диапазоне от 61 до 65 мкг/л. На втором створе содержание нитратов уменьшилось до значений 47 мкгN/л с последующим увеличением концентрации до значений 56 мкгN/л на третьем створе (табл. 1). В зимний период 2021 г. содержание нитратов в р. Сояна изменялось в пределах 64–80 мкгN/л (табл. 1). Концентрации нитратов достигают максимума в конце гидрологической зимы за счёт восстановления при регенерации органической материи и конвективного перемешивания с нижележащими водами. Предельное значение содержания нитратов не должно превышать 9000 мкгN/л, согласно нормативам [23]. По полученным нами результатам, концентрация нитратов в водах нижнего течения р. Сояна находится значительно меньше указанного норматива.

Концентрация ионов аммония в речных водах обычно колеблется в пределах сотых, десятых долей мг/л, при этом увеличение содержания аммонийного азота, как правило, сопряжено с увеличением уровня трофности водоёма. Сезонная динамика концентраций аммонийного азота имеет следующие особенности: минимальные значения наблюдаются в марте-апреле, когда процессы разложения белковых веществ в водоёмах практически отсутствуют.

Содержание аммонийного азота в водах р. Сояны в летний период 2020 г. изменялось незначительно в диапазоне от 36,8 до 58,5 мкгN/л (табл. 1), при среднем значении 45,5 мкгN/л (табл. 2). Максимальная концентрация зафиксирована у правого берега ст. № 2. В зимний период 2021 г. диапазон содержания аммонийного азота в р. Сояна изменялся от 6,41 до 13,2 мкгN/л (табл. 2).

В соответствии с нормативами [23], содержание аммонийного азота в водах не должно превышать 500 мкг/л. Содержание в воде аммонийного азота на исследованных участках было значительно ниже установленной ПДК как в летний, так и в зимний (подлёдный) период.

Показатель «общий азот» характеризует валовое содержание всех форм азота в пробах воды, и именно он обычно используется для характеристики антропогенной нагрузки на природную среду. Содержание общего азота в водах исследованного нами района в летний период 2020 г. в среднем составило 107 мкгN/л (табл. 2). Максимальная концентрация наблюдалась на 2 створе у левого берега реки, где составляла 159 мкгN/л. Зимой концентрация общего азота увеличилась до значений 234 мкгN/л (табл. 1).

Фосфор является одним из важнейших биогенных элементов, но высокая концентрация его солей может ограничивать развитие жизни в водоёме. Повышение содержания фосфатов до нескольких мг/л указывает, как правило, на загрязнение данного водоёма [24]. Повышенные концентрации фосфора приводят к эвтрофированию водоёма и действуют неблагоприятно на рыб и даже могут вызывать отравление [21].

Диапазон изменения концентраций фосфатов в водах р. Сояна в летнюю межень 2020 г. составил от 14,2 до 27,3 мкгP/л (табл. 1). Максимальное содержание этого элемента было зафиксировано также на станции № 2 у левого берега. В зимний период 2021 г. наблюдалось максимальное содержание фосфатов в водной толще, связанное с минерализацией органического вещества. По полученным данным, средняя концентрация фосфатов составила 13,4 мкгP/л (табл. 2). Максимальное значение (27,3 мкгP/л) было зафиксировано во 2 створе у левого берега реки. Согласно нормативам [23] содержание фосфатов не должно превышать 50 мкг/л – данный норматив в исследуемом нами районе также не превышен. По данным химического анализа в летний период 2020 г. содержание общего фосфора в исследуемом участке изменялось незначительно – от 20,4 до 27,5 мкгP/л (табл. 1). Зимой концентрация снижалась до 15,6 мкгP/л (табл. 2).

Соединения кремния находятся в водах в растворённом, взвешенном и коллоидном состояниях, соотношения между которыми определяются составом вод, температурой, рН и другими факторами. Полученные нами

результаты показывают, что в летний период 2020 г. диапазон изменения концентраций кремния составил от 1440 до 1690 мкг/л (табл. 1). Наиболее высокие его концентрации были отмечены во 2 створе у левого берега. Также более высокие концентрации были отмечены и в 3 створе. Для солей кремния характерен выраженный сезонный ход с зимним максимумом и летним минимумом. Содержание кремния на исследуемом участке в зимний период 2021 г. изменялось незначительно, в пределах от 2720 до 2900 мкг/л (табл. 1), не превысив норматива (10000 мкг/л) [23]. Максимальные значения были связаны, по всей видимости, с увеличением роли грунтовых вод в питании реки, богатых биогенными веществами, когда процессы развития фитопланктона незначительны.

По полученным нами данным содержание нефтепродуктов в поверхностных водах р. Сояна в период исследований не превышало 0,010 мг/л (табл. 1, 2). При уровне ПДК = 0,05 мг/л [23] превышений не отмечено в период наблюдений.

Донные отложения являются одним из наиболее информативных компонентов водных экосистем. Обладая депонирующими свойствами, они способны аккумулировать загрязняющие вещества, поступающие в водные объекты в течение длительного времени и, следовательно, являются надёжным индикатором экологического состояния не только самих водных объектов, но и обширных водосборных площадей. Благодаря этому донные отложения представляют особую ценность в системе мониторинга техногенно нарушенных территорий [25]. Следует отметить, что содержание нефтепродуктов в донных отложениях российскими нормативными документами не регламентируется. Согласно литературным источникам [26–28], сублетальные и пороговые эффекты для гидробионтов по нефтепродуктам проявляются при их концентрации в воде от 1 мкг/л; в донных отложениях от 10 до 100 мкг/г.

Донные отложения в р. Сояна представлены в основном в виде глины, илистого песка и гальки. В летний период содержание нефтепродуктов в грунтах реки исследованного района изменялось незначительно – от 0,2 до 3,2 мг/кг (табл. 1). Максимальное содержание было зафиксировано в 3 створе на станции, которая расположена в середине реки, где донные отложения представляют собой илистый песок. В зимний период исследований содержание нефтепродуктов снизилось на

Таблица 1 / Table 1
Химический состав и гидрологические характеристики вод реки Сояны в летний период 2020 г./зимний период 2021 г.
Chemical composition and hydrological characteristics of the Soyana River water in the summer of 2020/in winter 2021

Показатель Index	1 створ / 1 target			2 створ / 2 target			3 створ / 3 target			ПДК _{р.х.} MPC _f
	левый берег left bank	середина middle	правый берег right bank	левый берег left bank	середина middle	правый берег right bank	левый берег left bank	середина middle	правый берег right bank	
pH	8,2±0,1 7,7±0,1	8,1±0,1 –	8,0±0,1 7,7±0,1	6,7±0,1 7,6±0,1	6,4±0,1 –	7,4±0,1 7,5±0,1	7,2±0,1 –	7,2±0,1 –	6,0±0,1 –	6,5–8,5 –
O ₂ , мг/л mg/L	8,60±0,28 6,20±0,20	8,00±0,26 –	9,10±0,29 7,10±0,23	8,80±0,28 8,00±0,26	6,70±0,21 –	7,10±0,23 8,30±0,27	6,70±0,21 –	8,40±0,27 –	8,40±0,27 –	– 6,0
Минерализация, мг/л Mineralization, mg/L	164,0±1,7 288,0±2,9	189,0±1,9 –	215,0±2,2 262,0±2,7	181,0±1,8 296,0±3,0	185,0±1,9 –	198,0±2,0 283,0±2,9	210,0±2,1 –	201,0±2,0 –	206,0±2,1 –	– –
Нефтяные углеводороды, мг/л / Petroleum hydrocarbons, mg/L	0,010±0,007 0,010±0,007	0,010±0,007 –	0,010±0,007 0,010±0,007	0,010±0,007 0,010±0,007	0,010±0,007 –	0,010±0,007 0,010±0,007	0,010±0,007 –	0,010±0,007 –	0,010±0,007 –	0,05 –
Нефтяные углеводороды, мг/кг / Petroleum hydrocarbons, mg/kg	1,9±0,7 1,2±0,4	2,9±1,0 –	0,2±0,1 1,6±0,6	1,2±0,4 1,2±0,4	1,0±0,3 –	1,2±0,4 1,4±0,5	1,1±0,4 –	3,2±1,1 –	0,7±0,2 –	до 100
Si, мкг/л µg/L	1440±60 2720±110	1480±60 –	1540±60 2840±120	1690±70 2900±120	1480±60 –	1500±60 2830±120	1650±70 –	1650±70 –	1620±70 –	10000
P-PO ₄ ³⁻ , мкгP/л µgP/L	16,0±1,6 10,8±2,7	16,1±1,6 –	14,8±1,5 19,4±1,9	27,3±2,5 12,7±1,3	18,1±1,8 –	14,2±1,5 10,8±1,2	16,2±1,6 –	17,1±1,7 –	19,6±1,9 –	50
N-NH ₄ ⁺ , мкгN/л µgN/L	37±8 6,4±1,4	44±10 –	49±11 8,2±1,8	46±10 13,2±2,9	44±10 –	59±13 7,1±1,6	46±10 –	43±10 –	43±10 –	500
N-NO ₃ ⁻ , мкгN/л µgN/L	64±14 80±18	65±14 –	61±14 71±16	51±11 64±14	54±12 –	47±10 74±16	50±11 –	56±12 –	49±11 –	40000
N-NO ₂ ⁻ , мкгN/л µgN/L	< 0,5* < 0,5*	< 0,5* –	< 0,5* 2,05±0,16	< 0,5* < 0,5*	< 0,5* –	< 0,5* 1,07±0,14	< 0,5* –	< 0,5* –	< 0,5* –	20
N _{общ.} , мкг/л N _{total} ² , µg/L	178±17 234±20	163±16 –	152±15 179±17	159±16 155±16	104±13 –	104±13 182±17	115±13 –	109±13 –	109±13 –	– –
P _{общ.} , мкг/л P _{total} ¹ , µg/L	24±3 16±0,9	26±4 –	27±4 14±0,9	22±3 15±0,9	22±3 –	23±3 18±1,2	27±4 –	28±4 –	20,4±2,9 –	– –

Примечание: * – ниже предела обнаружения метода, ПДК_{р.х.} – для объектов рыбохозяйственного значения, «–» – исследования не проводили.
Note: * – below the detection limit of the method, MPC_f – for objects of fishery importance, “–” – no research has been done.

Таблица 2 / Table 2

Статистические характеристики показателей вод р. Сояна в летний период 2020 г./зимний период 2021 г. / Statistical characteristics of the Soyana River water indicators in summer 2020/in winter 2021

Статистические характеристики Statistical characteristics	Показатели / Indexs									
	минерализация, мг/л mineralization, mg/L	pH	O ₂ мг/л mg/L	N-NO ₃ ⁻ , мкг N/л µg N/L	P-PO ₄ ³⁻ , мкгP/л µgP/L	Si мкг/л µg/L	N-NH ₄ ⁺ , мкгN/л µgN/L	N _{общ.} , мкг/л N _{total} , µg/L	P _{общ.} , мкг/л P _{total} , µg/L	нефтяные углеводороды, мг/кг petroleum hydrocarbons, mg/kg
Среднее значение Average value	<u>194</u> 282	<u>7.2</u> 7,6	<u>7.9</u> 7,4	<u>55.1</u> 72,2	<u>17.7</u> 13,4	<u>1560</u> 2823	<u>45.5</u> 8,7	<u>107</u> 188	<u>24.2</u> 15,6	<u>1.5</u> 1,4
Стандартное отклонение Standard deviation	<u>16</u> 15	<u>0.8</u> 0,1	<u>0.9</u> 0,9	<u>6.8</u> 7,0	<u>3.9</u> 4,1	<u>92</u> 76	<u>5.8</u> 6,0	<u>44</u> 33	<u>2.8</u> 2,0	<u>1.0</u> 0,2
Медиана Median	<u>198</u> 285	<u>7.2</u> 7,6	<u>8.4</u> 7,6	<u>53.7</u> 72,4	<u>16.2</u> 11,8	<u>1537</u> 2834	<u>43.8</u> 7,7	<u>83</u> 180	<u>23.7</u> 15,3	<u>1.2</u> 1,3
Максимальное значение Maximum value	<u>215</u> 296	<u>8.2</u> 8,3	<u>9.1</u> 8,3	<u>64.8</u> 80,4	<u>27.3</u> 19,4	<u>1692</u> 2904	<u>58.5</u> 13,2	<u>178</u> 234	<u>27.5</u> 18,3	<u>3.2</u> 1,6
Минимальное значение Minimum value	<u>165</u> 261	<u>6.0</u> 7,5	<u>6.7</u> 6,2	<u>46.5</u> 63,6	<u>14.2</u> 10,8	<u>1439</u> 2720	<u>36.8</u> 6,4	<u>62</u> 155	<u>20.4</u> 13,6	<u>0.2</u> 1,2

некоторых станциях, где их среднее значение составляло 1,4 мг/кг (табл. 2).

Заключение

Проведение комплексного мониторинга экосистемы р. Сояна позволило выявить основные характеристики её современного состояния. Установлено, что концентрации солей фосфора, азота и кремния как в летний, так и в зимний периоды наблюдений не превысили предельно допустимых значений для рыбохозяйственных водоёмов. Значения концентрации растворённого кислорода в водах в исследуемые периоды находились в норме. Случаев снижения его величины ниже уровня ПДК (т. е. проявления заморных явлений) не было отмечено ни на одном участке отбора. Воды р. Сояны можно отнести к гидрокарбонатному классу малой и средней минерализации. Кислотная реакция среды относится к слабокислотному и слабощелочному типу. Концентрация нефтепродуктов в воде не превышала предельно допустимую концентрацию. Содержание нефтяных углеводородов в донных отложениях было незначительно и составляло в среднем 1,5 мг/кг.

Полученные в ходе исследования данные позволили количественно оценить сезонную

изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик в направлении от истока к устью реки, а также уточнить взаимосвязи и закономерности их распределения. Они могут быть использованы в качестве фоновых в случае изменения экологической ситуации в речном бассейне реки Сояны и поступлении в водоток неочищенных или слабо очищенных промышленных стоков.

Работа выполнена в рамках государственного задания FUUW-2022-0068 «Изучение изменений в экосистеме р. Северная Двина и в водоёмах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Европейского северо-востока России в условиях климатических сукцессий и воздействия антропогенных факторов» (гос. рег. № 122011800593-4).

Авторы благодарны научному сотруднику лаборатории пресноводных и морских экосистем ФИЦКИА УрО РАН О.Ю. Моревой за ценные советы, обсуждение и помощь в работе.

Литература

1. Адамович Т.А., Скугорева С.Г., Товстик Е.В., Ашихмина Т.Я. Изучение особенностей химического состава водных объектов заповедной территории для использования в качестве регионального фона // Тео-

- ретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 89–96.
2. Borodina E.V., Borodina U.O. Water chemistry formation in lakes of specially protected natural areas in the Altay Mountains: case study of the Mul'ta River // *Water Resources*. 2019. V. 46. No. 4. P. 582–594.
3. Лукьянова Н.В., Мясков А.В. Влияние горной промышленности на особо охраняемые природные территории // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007. № 6. С. 223–330.
4. Абдувалиев А.М., Худайбергенова Б.М. Сезонная миграция загрязняющих веществ в поверхностных водах в результате деятельности горнодобывающей компании в Кыргызстане // *Теоретическая и прикладная экология*. 2016. № 1. С. 27–32.
5. Валуев Е.П. Этапы освоения месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова // *Горный журнал*. 2002. № 7. С. 29–32.
6. Вольперт Я.Л. Трансформация наземных экосистем в результате воздействия алмазодобывающей промышленности // *Успехи современного естествознания*. 2012. № 11. С. 80–82.
7. Гололобова А.Г., Легостаева Я.Б. Экогеохимический мониторинг почвенного покрова на участках алмазодобычи в Западной Якутии // *Известия политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2020. Т. 331. № 12. С. 146–157.
8. Котова Е.И., Нецветаева О.П., Решетняк О.С. Воздействие разработки месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова на экосистему реки Золотицы // *Арктика: экология и экономика*. 2022. Т. 12. № 2 (46). С. 191–199.
9. Поздняков А.И., Вольперт Я.Л. Анализ воздействия алмазодобывающей промышленности на окружающую среду северо-западной Якутии // *Проблемы региональной экологии*. 2008. № 2. С. 24–28.
10. Посухова Т.В., Дорофеев С.А., Гаранин К.В., Сяоин Г. Отходы алмазодобывающей промышленности: минеральный состав и способы утилизации // *Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология*. 2013. № 2. С. 38–48.
11. Шевелева А.В., Шварцман Ю.Г. Проблемы экологической безопасности при разработке месторождения алмазов имени Ломоносова // *Вестник С(А)ФУ. Естественные науки*. 2012. № 2. С. 40–47.
12. Шпилева Д.В. Геологическое строение, минеральный состав и эколого-экономические аспекты освоения трубки Архангельская (месторождение алмазов им. М.В. Ломоносова): автореферат канд. геол.-минер. наук. М., 2008. 20 с.
13. Арнаутов А.И., Исаков М.С. Инженерно-экологические проблемы при разработке месторождения алмазов им. В.П. Гриба // *Записки Горного института*. 2003. Т. 153. С. 117–119.
14. Сапожников В. В., Агатова А.И., Аржанова Н.В., Мордасова Н.В., Лапина Н.М., Зубаревич В.Л., Лукьянова О.Н., Торгунова Н.И. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоёмов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: ВНИРО, 2003. 202 с.
15. Справочник по водным ресурсам СССР. Л.: Государственный гидрологический институт и Центральное бюро водного кадастра, 1934. Т. 2. 665 с.
16. MacFeeters S.K. The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water feature // *International Journal of Remote Sensing*. 1996. V. 17. No. 7. P. 1425–1432.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Л.: Гидрометеиздат, 1965. Т. 3. Северный край. 610 с.
18. Онищук Р.П. Союзна. Поморская энциклопедия. Т. 2. Природа Архангельского Севера. Архангельск: Поморский ГУ, 2007. С. 486.
19. Овсянный Е.И., Орехова Н.А. Гидрохимический режим реки Черной (Крым): экологические аспекты // *Морской гидрофизический журнал*. 2018. Т. 34. № 1. С. 82–94.
20. Привезенцев Ю.А. Гидрохимия пресных водоёмов. М.: Пищевая промышленность, 1973. 120 с.
21. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1953. 296 с.
22. Петин А.Н., Лебедева М.Г., Крымская О.В. Анализ и оценка качества поверхностных вод. Белгород: БелГУ, 2006. 252 с.
23. 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» [Электронный ресурс] <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-13.12.2016-N-552> (Дата обращения: 16.01.2023).
24. Метелев В.В., Канаев А.И., Дзасохова Н.Г. Водная токсикология. М.: Колос, 1971. 247 с.
25. Решетняк В.Н., Закруткин В.Е., Гибков Е.В. Интегральная оценка техногенного загрязнения речных отложений углепромышленной территории Восточного Донбасса // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 4. С. 80–87.
26. Московченко Д.В. Нефтедобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. Новосибирск: Наука, 1998. 112 с.
27. Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгалов В.А. Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. Ростов-на-Дону: НОК, 2007. 280 с.
28. Никаноров А.М., Страдомская А.Г. Проблемы нефтяного загрязнения пресноводных экосистем: монография. Ростов-на-Дону: НОК, 2008. 222 с.

References

1. Adamovich T.A., Skugoreva S.G., Tovstik E.V., Ashikhmina T.Ya. Studying the characteristics of the

chemical composition of water bodies of the protected area for use as a regional background // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 1. P. 89–96 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-089-096

2. Borodina E.V., Borodina U.O. Water chemistry formation in lakes of specially protected natural areas in the Altay Mountains: case study of the Mul'ta River // *Water Resources*. 2019. V. 46. No. 4. P. 582–594. doi: 10.1134/0097807819040055

3. Lukyanova N.V., Myaskov A.V. Influence of the mining industry on specially protected natural areas // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2007. No. 6. P. 223–330 (in Russian).

4. Abduvaliev A.M., Khudaibergenova B.M. Seasonal migration of pollutants in surface waters as a result of the activity of a mining company in Kyrgyzstan // *Theoretical and Applied Ecology*. 2016. No. 1. P. 27–32 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2016-1-033-037

5. Valuev E.P. Stages of development of the diamond deposit named after M.V. Lomonosov // *Gornyi Zhurnal*. 2002. No. 7. P. 29–32 (in Russian).

6. Volpert Ya.L. Transformation of terrestrial ecosystems as a result of the impact of the diamond mining industry // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2012. No. 11. P. 80–82 (in Russian).

7. Golobova A.G., Legostaeva Ya.B. Ecogeochemical monitoring of soil cover at diamond mining sites in Western Yakutia // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2020. V. 331. No. 12. P. 146–157 (in Russian). doi: 10.18799/24131830/2020/12/2948

8. Kotova E.I., Netsvetaeva O.P., Reshetnyak O.S. Impact of the Lomonosov diamond deposit exploitation on the Zolotitsa river ecosystem // *Arctic: Ecology and Economy*. 2022. V. 12. No. 2 (46). P. 191–199 (in Russian). doi: 10.25283/2223-4594-2022-2-191-199

9. Pozdnyakov A.I., Volpert Ya.L. Analysis of diamond-mining industry impact on the environment in the north-west Yakutia // *Problemy regionalnoy ekologii*. 2008. No. 2. P. 24–28 (in Russian).

10. Posukhova T.V., Dorofeev S.A., Garanin K.V., Xiaoying G. Wastes of diamond mining industry – mineralogical composition and methods of the utilization // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya*. 2013. No. 2. P. 38–48 (in Russian).

11. Sheveleva A.V., Shvartsman Yu.G. Problems of environmental safety at development of the Lomonosov diamond deposit // *Arctic Environmental Research*. 2012. No. 2. P. 40–47 (in Russian).

12. Shpilevaya D.V. Geological structure, mineral composition and ecological and economic aspects of the development of the Arkhangelskaya pipe (diamond deposit named after M.V. Lomonosov): Abstract of the candidate of geol.-miner. sciences. Moskva, 2008. 20 p. (in Russian).

13. Arnautov A.I., Iskhakov M.S. Engineering and environmental problems in the development of the V.P. Grib diamond deposit // *Zapiski Gornogo instituta*. 2003. V. 153. P. 117–119 (in Russian).

14. Sapozhnikov V.V., Agatova A.I., Arzhanova N.V., Mordasova N.V., Lapina N.M., Zubarevich V.L., Lukyanova O.N., Torgunova N.I. 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. Moskva: Publishing House of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 2003. 202 p. (in Russian).

15. Reference book on water resources of the USSR. Leningrad: Gosudarstvennyy gidrologicheskiy institut i Tsentralnoe byuro vodnogo kadastra, 1934. V. 2. 665 p. (in Russian).

16. MacFeeters S.K. The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water feature // *International Journal of Remote Sensing*. 1996. V. 17. No. 7. P. 1425–1432. doi: 10.1080/01431169608948714

17. Surface Water Resources of the USSR. Hydrological Study. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965. V. 3. Northern Region. 610 p. (in Russian).

18. Onischuk R.P. Soyana // *Pomor encyclopaedia*. V. 2. Nature of the Arkhangelsk North. Arkhangelsk: Pomor State University, 2007. P. 486 (in Russian).

19. Ovsyany E.I., Orekhova N.A. Hydrochemical regime of the River Chernaya (Crimea): environmental aspects // *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*. 2018. V. 34. No. 1. P. 82–94 (in Russian). doi: 10.22449/0233-7584-018-1-82-94

20. Privezentsev Yu.A. Hydrochemistry of freshwater bodies. Moskva: Pishchevaya promyshlennost, 1973. 120 p. (in Russian).

21. Alekin O.A. Basics of Hydrochemistry. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1953. 296 p. (in Russian).

22. Petin A.N., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V. Analysis and assessment of the quality of surface waters. Belgorod: BelGU, 2006. 252 p. (in Russian).

23. 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” [Internet resource] <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot12/13/2016-N-552> (Accessed: 16.01.2023).

24. Metelev V.V., Kanaev A.I., Dzasokhova N.G. Water toxicology. Moskva: Kolos, 1971. 247 p. (in Russian).

25. Reshetnyak V.N., Zakrutkin V.E., Gibkov E.V. Integral assessment of technogenic pollution of river sediments in the coal mining area of the Eastern Donbass // *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. No. 4. P. 80–87 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-4-080-087

26. Moskovchenko D.V. Oil production and environment: ecological and geochemical analysis of the Tyumen Region. Novosibirsk: Nauka, 1998. 112 p. (in Russian).

27. Nikanorov A.M., Ivanov V.V., Bryzgalov V.A. Rivers of the Russian Arctic under current conditions of anthropogenic impact. Rostov-na-Donu: NOK, 2007. 280 p. (in Russian).

28. Nikanorov A.M., Stradomskaya A.G. Problems of oil pollution of freshwater ecosystems. Rostov-na-Donu: NOK, 2008. 222 p. (in Russian).