

УДК 91:502.7

ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ ТИМПТОН ПРИ ВОЗМОЖНОМ ЗАРЕГУЛИРОВАНИИ ЕЕ СТОКА

¹Николаева Н.А., ²Копырина Л.И.

¹Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск,
e-mail: nna0848@mail.ru;

²Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

Южная Якутия является наиболее перспективным регионом Республики Саха (Якутия), природные ресурсы и экспортный потенциал которой обеспечивают реализацию энергетической стратегии на Северо-Востоке России. Современные тренды в мировой и российской экономике предполагают, что помимо разработки угольных месторождений необходим поиск других источников энергии. Наиболее вероятным является строительство каскада ГЭС на р. Тимптон – Канкунской и Нижне-Тимптонской ГЭС, который неизбежно приведет к обострению экологических проблем в связи с влиянием на всю экосистему реки. Особую актуальность приобретет возможное изменение качества воды крупного водохранилища Канкунской ГЭС в связи с возможным затоплением древесной растительности в ложе, очистка которого крайне затруднена в условиях Севера. В связи с этим выполнен прогноз гидрохимического и гидробиологического состояния воды водохранилища. В результате гидрохимического прогноза определено, что зарегулирование реки приведет к увеличению содержания органических веществ по сравнению с их фоновым значением за счет питающей реки, фенолов за счет вымывания из древесной растительности, а также к уменьшению содержания растворенного кислорода. Прогноз гидробиологического состояния показал, что при строительстве каскада ГЭС на р. Тимптон произойдут изменения в скорости течения, температурном и паводковом режимах, что повлечет за собой изменение видового состава водорослей фитопланктона, фитоперифитона и динамики их сезонного развития, что отрицательно скажется на режиме питания зоопланктона, зообентоса и рыбы. Роль *Bacillatiophyta* водорослей будет уменьшаться от 46,4% до 29,0%, а *Charophyta* и *Cyanobacteria* – возрастет до 53,0% и 42,0% соответственно. Доля остальных отделов уменьшится до 20%, что отразится на количественном соотношении численности и биомассы клеток и, как следствие, на процессах естественного самоочищения реки.

Ключевые слова: р. Тимптон, каскад ГЭС, водохранилище, прогноз, гидрохимическое состояние, фитоперифитон, фитопланктон

FORECAST OF WATER QUALITY TIMPTON RIVER WITH POSSIBLE REGULATION OF ITS FLOW

¹Nikolaeva N.A., ²Kopyrina L.I.

¹Institute of Physical and Technical Problems of the North named after V.P. Larionov,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru;

²Institute of Biological Problems of Permafrost, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

South Yakutia is the most promising region of the Republic of Sakha (Yakutia), whose natural resources and export potential ensure the implementation of the energy strategy in the North-East of Russia. Modern trends in the global and Russian economy suggest that in addition to the development of coal deposits, it is necessary to search for other sources of energy. The most likely is the construction of a cascade of hydroelectric power stations on the river. Tipton – Cancun and Lower Tipton HPP, which will inevitably lead to aggravation of environmental problems due to the impact on the entire ecosystem of the river. Of particular relevance will be a possible change in the water quality of the reservoir of the priority Kankun hydroelectric power station in connection with the possible flooding of woody vegetation in the bed, the purification of which is extremely difficult in the conditions of the North. In this regard, a forecast of the hydrochemical and hydrobiological conditions of the reservoir water was made. As a result of the hydrochemical forecast, it was determined that river regulation will lead to an increase in the content of organic substances in the water of the reservoir compared to their background value due to the feeding river, volatile phenols due to leaching from flooded woody vegetation, and also to a decrease in the content of dissolved oxygen. The forecast of the hydrobiological state showed that during the construction of the HPP cascade on the river. Tipton-Lower-Tiptonskaya HPP with Idzhekskaya HPP or Kankunskaya HPP, there will be changes in the flow rate, temperature and flood regimes, which will entail a change in the species composition of phytoplankton, phytoperiphyton algae and the dynamics of their seasonal development, which will adversely affect the diet of zooplankton, zoobenthos and fish. The role of *Bacillatiophyta* algae will decrease from 46.4% to 29.0%, while *Charophyta* and *Cyanobacteria* will increase to 53.0% and 42.0%, respectively. The share of other divisions will decrease to 20%, which will affect the quantitative ratio of the number and biomass of cells and, as a result, the processes of natural self-purification of the river.

Keywords: Tipton, HPP cascade, reservoir, forecast, hydrochemical state, phytoperiphyton, phytoplankton

Громадные природные ресурсы наиболее перспективного региона Республики Саха (Якутия) – Южной Якутии и его экспортный потенциал обеспечива-

ют реализацию энергетической стратегии на Северо-Востоке России. Складывающаяся в настоящее время политико-экономическая обстановка в стране предопределяет,

наряду с дальнейшей разработкой угольных месторождений, поиск других источников энергии. Наиболее перспективным является «использование гидропотенциала рек Южной Якутии для выработки электроэнергии со строительством Южно-Якутского гидроэнергетического комплекса, в частности Канкунской ГЭС (1300 МВт) и Нижне-Тимптонской ГЭС (800 МВт) на р. Тимптон» [1, с. 184]. Реализация такого крупного энергопроекта в труднодоступном малоосвоенном регионе со специфическими природными условиями неизбежно приведет к обострению экологических проблем в связи со значительным влиянием на всю экосистему территории строительства.

При возникновении водохранилищ как нового географического объекта, экосистемы, сформировавшиеся ранее, преобразуются, что нарушает многие сложившиеся внутренние связи. Процесс становления экосистемы начинается с перекрытия реки плотиной и заполнения чаши водоема, когда формируются ее новые элементы. Из биотических элементов в наличии оказываются лишь разрозненные фрагменты речной экосистемы. Особенно существенное значение в экологическом отношении в этот период имеет резкое ослабление биотических взаимоотношений между организмами, которые ранее были связаны в единой трофической цепи. Одним из наиболее значимых последствий реформирования природной среды ожидается изменение качественного (гидрохимического и гидробиологического) состояния воды водохранилища. Особенно экологически значимым представляется вопрос, возникающий при проектировании крупных сибирских водохранилищ – затопление большого количества древесной и иной растительности ложа, очистка которого крайне затруднена технически, что значительно удорожает строительство в условиях Севера.

Целью работы является прогноз гидрохимического и гидробиологического состояний воды водохранилищ в случае зарегулировании стока р. Тимптон каскадом ГЭС как важное звено разработки комплексных природоохранных мероприятий по предотвращению нарушения сложившихся экосистем.

Материалы и методы исследования

В натуральных условиях проведено исследование современного гидрохимического и гидробиологического (водорослей фитоперифитона, фитопланктона) состояний воды рек бассейна Тимптона. Отбор проб воды на гидрохимический анализ, их хранение, транспортировка и лабораторный

анализ были осуществлены по общепринятым рекомендациям [2]. Прогноз гидрохимического состояния воды водохранилища Канкунской ГЭС выполнен по методике прогнозирования гидрохимического состава воды водохранилищ ГЭС [3] с учетом методики [4], подтверждающей возможность ее применения для водохранилищ Севера. Также был использован метод географической аналогии.

Сбор и обработка проб водорослей перифитона выполнялись общепринятыми гидробиологическими методами [5]. Видовая принадлежность водорослей фитоперифитона и фитопланктона была определена путем применения отечественных определителей [6] с уточнением их в международной системе Algae Base [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Река Тимптон – крупный правый приток р. Алдан, исток расположен на северных склонах Станового хребта и характеризуется врезанным порожистым руслом и выходами скальных горных пород [8]. Согласно проектным данным, створ Канкунской ГЭС будет расположен в точке слияния р. Хатыми и Нельгюу, полный объем водохранилища составит 19,576 км³, площадь затопления – 241 км².

По характеру гидрологического режима река относится к водоемам смешанного типа питания с формированием годовых максимумов в период половодья, равно как при прохождении летних дождевых паводков. При этом весенний подъем уровней воды начинается в конце апреля или в первых числах мая. Максимальные уровни половодья в среднем отмечаются в конце мая при очищении реки ото льда.

Для р. Тимптон характерна крайняя неравномерность внутригодового распределения стока: в весеннее и летнее время формируется основная часть годового стока и лишь его незначительная часть выпадает на осенний и зимний периоды.

Прогноз гидрохимического состояния Канкунского водохранилища

При создании первого в Якутии водохранилища Вилкойской ГЭС было затоплено большое количество лиственницы с высокой средней плотностью, что привело к замедлению процесса распада и ухудшению гидрохимического состояния воды [4].

В Якутии преобладающей хвойной породой является лиственница Каяндера, которая характеризуется наличием труднорастворимых дубильных веществ, смол и терпенов. При недостаточном проведе-

нии подготовительных работ по лесосводке и лесочистке и затоплению ложа водохранилищ существует вероятность замедления процессов вымывания, биохимического превращения и самоочищения воды от продуктов органического загрязнения, чему будут способствовать низкие температуры воды в течение продолжительного времени [9].

Расчет прогнозируемых концентраций органических и биогенных веществ для первых лет существования Канкунского водохранилища выполнен по формуле водно-солевого баланса с эмпирическими коэффициентами, полученными экспериментальным путем, которые характеризуют поступление органических и биогенных веществ из разлагающейся древесной растительности и почв. Выраженные в килограммах, они соответствуют количеству ингредиента, образующегося при разложении 1 т растительной массы и количеству ингредиента, переходящему в толщу воды из 1 кг залитой почвы [10]. Было определено содержание в воде будущего водохранилища величин бихроматной и перманганатной окисляемости, минеральных форм азота и фосфатов.

При расчетах использованы материалы натуральных полевых работ по изучению современного гидрохимического состояния воды р. Тимптон и его притоков [10]. Для нахождения биомассы затопленной древесной растительности в абсолютно-сухом весе использованы материалы работы [11], а также гидрологические и гидроморфометрические данные и площадные параметры лесов и почв ложа, полученные из проектных материалов.

Ввиду отсутствия антропогенных сбросов, а также данных по экстракции органического вещества из луговой растительности и фитопланктона, для расчетов были выбраны следующие источники их поступления: речная вода, древесная растительность, лесная, луговая и болотная почвы.

В результате прогноза содержания органических и биогенных веществ в воде Канкунского водохранилища определен долевой вклад (в %) выбранных источников в общее количество органических веществ и биогенных элементов [10]. Рассчитано, что наиболее значимым источником экстракции органического вещества в воду водохранилища является речной сток в связи с большим объемом воды и, соответственно, большим объемом органических веществ. С затопленной древесной растительностью поступит существенно меньшее количество органических и биогенных

веществ, а с затопленными почвами – еще меньше. В целом произойдет их увеличение по сравнению с фоновым содержанием, что будет характерно для первых лет существования водохранилища.

В годы формирования водохранилища вследствие выраженного процесса вымывания органического вещества из затопленных растительности, почв и пород возможна напряженность газового режима – уменьшение количества кислорода и избыток двуокиси углерода. В связи с этим рассчитано возможное количество кислорода, необходимого для минерализации органических веществ из затопленных древесной растительности и почв, для чего были использованы экспериментальные данные о количестве кислорода, идущего на окисление единицы массы растительного материала и поглощенного при контакте с различными почвами [12]. Рассчитано, что при этом будет потреблено 7,64 тыс. т растворенного кислорода, причем его основным потребителем явится древесная растительность. Общее содержание кислорода в воде водохранилища при его среднем содержании 9,9 мг/л составит 193,8 тыс. т. Прогнозируемая средняя концентрация кислорода в водохранилище составит 9,5 мг/л, что означает уменьшение запасов растворенного кислорода на минерализацию растительных остатков на 4%. Затопленная высшая водная и луговая растительности, фитопланктон не принимались в расчет из-за отсутствия данных по их биомассе, хотя известно, что именно они потребляют при минерализации значительное количество кислорода [10].

При разложении органического вещества в воду поступают летучие фенолы с предельно допустимой концентрацией 0,001 мг/дм³, которые оказывают токсичное воздействие на гидробионты и сокращают продуктивность ихтиофауны [13]. На основании экспериментальных данных, проведенных на Виллойском водохранилище [4], рассчитана прогнозируемая концентрация летучих фенолов в воде Канкунского водохранилища, поступающих из остатков затонувшей лиственницы и с речным стоком. Определено, что суммарная концентрация фенолов в воде составит 0,003 мг/л [12]. По аналогии с Виллойским водохранилищем, в котором содержание летучих фенолов, превышающее нормируемое в 5–6 раз, наблюдается в течение длительного времени [4], прогнозируется возможность превышения содержания летучих фенолов в воде Канкунского водохранилища также на протяжении десятков лет.

Современное гидробиологическое состояние р. Тимптон и его прогноз

Изучение современного состояния водных экосистем, представленных различными группами водорослей фитопланктона и фитоперифитона, расположенных в зоне возможного промышленного освоения, является необходимым звеном гидробиологических мониторинговых исследований. Их характерной особенностью является видовое постоянство и относительная устойчивость в природных условиях, что позволяет фиксировать любые изменения в речной среде благодаря высокой чувствительности этих гидробиологических объектов в условиях загрязнения.

Водоросли являются активными участниками функционирования водных экосистем при укороченном вегетационном периоде, продуцируют кислород и органическое вещество, создают благоприятные условия для жизнедеятельности гидробионтов (зоопланктона, рыб и др.), а также являются индикаторами состояния водоемов [14]. Поэтому изучение состава, жизнедеятельности водорослей бассейнов рек позволяет выявить закономерности распределения водорослей в водоемах в экстремальных условиях Севера и для разработки мероприятий, связанных с сохранением рыбных запасов региона.

В июне, июле, августе 2007 и 2011 гг. были проведены работы по изучению водорослей фитоперифитона и фитопланктона бассейна р. Тимптон. Исследованные водоемы расположены как на левом, так и на правом берегах бассейна р. Тимптон и имеют различия по своим морфометрическим характеристикам, световым, температурным, гидрохимическим и гидродинамическим режимам, характеру субстратов, по степени антропогенного влияния и другим факторам среды.

Перифитон водных объектов бассейна р. Тимптон до сих пор остается слабоизученным. В настоящее время в составе фитопланктона бассейна р. Тимптон насчитывается 263 вида водорослей (278 видов и внутривидовых таксонов) из 113 родов и 8 отделов и фитоперифитона 250 видов и внутривидовых таксонов водорослей, состоящих из 129 родов и 8 отделов: *Bacillariophyta* – 116 видов и внутривидовых таксонов, *Charophyta* – 48, *Cyanobacteria* – 39, *Ochrophyta* – 20, *Chlorophyta* – 17, *Euglenozoa* – 5, *Miozoa* – 3, *Rhodophyta* – 1 [15]. Среди них найдено 12 новых видов для альгофлоры водоемов Якутии и 92 вида для бассейна р. Алдан. Из *Bacillariophyta* наиболее богато таксонами представле-

ны роды: *Eunotia* (12 видов), *Gomphonema* (10), *Cymbella* (9), *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia* (по 4 вида). По 3 таксона выявлено в родах *Achnanthesidium*, *Aulacoseira*, *Caloneis*, *Cocconeis*, *Epithemia*, *Fragilaria*, *Fragilariforma*, *Neidium*. Из отдела *Charophyta* отмечены следующие роды: *Cosmarium* (11 видов), *Closterium* (9), *Staurastrum* (4); из отдела *Ochrophyta*: *Tribonema* (5 видов), *Characiopsis*, *Dinobryon* и *Ophiocytium* (по 3); из *Cyanobacteria*: *Phormidium* (5 видов), *Nostoc* (4), *Merismopedia* (3), *Eglenozoa*: *Trachelomonas* (4 вида). В систематическом списке таксонов у 20 родов выявлено по два вида, 86 родов являются моновидовыми.

Исследования перифитона позволяют сделать прогноз о поэтапном влиянии каскада ГЭС на водные экосистемы р. Тимптон. Так, на начальном этапе становления экосистемы каскада ГЭС произойдет коренная перестройка видового состава водорослей, благополучно обитавших в реке и в результате внезапно оказавшихся в новых условиях. Изменения абиотической среды приведут к исчезновению многих видов, в результате на этом этапе становления водохранилищной биоты будет наблюдаться существенное обеднение видового состава перифитона по сравнению с исходной речной биотой.

На втором этапе становления экосистемы каскада ГЭС продолжатся изменения видового состава, доминирующих видов, величин численности, биомассы и продукции перифитона. По мере старения водохранилища будет формироваться перифитон «стоячих» водоемов с преобладанием зеленых, диатомовых и синезеленых водорослей.

Третий этап становления экосистемы в каскаде ГЭС будет зависеть от особенностей режима эксплуатации, которое имеет большое практическое значение и должно учитываться, прежде всего, при организации работ по эксплуатации биологических ресурсов водохранилища.

Заключение

Таким образом, в результате прогнозирования гидрохимического состояния воды Канкунского водохранилища можно сделать следующие выводы:

– показано, что при варианте регулирования стока р. Тимптон и сооружения водохранилища, а также отсутствия или недостаточного проведения подготовительных мероприятий по подготовке ложа, гидрохимическое состояние воды водохранилища претерпит изменения;

– создание водохранилища приведет к возрастанию содержания органических

веществ по сравнению с фоном; летучих фенолов, превышающих допустимые концентрации, и уменьшению количества растворенного кислорода;

– прогнозируется по аналогии с Вилюйским водохранилищем, что процессы восстановления гидрохимического качества воды Канкунского водохранилища могут растянуться на более продолжительное время по сравнению с центральными и южными регионами в связи с более суровыми климатическими условиями, распространением в области криолитозоны и затоплением преимущественно трудно разлагаемых хвойных пород в ложе водохранилища.

Прогнозируется, что при строительстве каскада ГЭС на р. Тимптон в составе Канкунской и Нижне-Тимптонской ГЭС произойдут изменения в скорости течения, температурном и паводковом режимах, что повлечет за собой изменение видового состава водорослей фитопланктона, фитоперифитона и динамики их сезонного развития, что отрицательно скажется на режиме питания зоопланктона, зообентоса и рыбы. Роль *Vacillatiophyta* водорослей будет уменьшаться от 46,4% до 29,0%, а *Charophyta* и *Cyanobacteria* – возрастать до 53,0% и 42,0% соответственно. Доля остальных пяти отделов уменьшится до 20%, что отразится в количественном отношении численности и биомассы клеток и, как следствие, на процессах естественного самоочищения реки.

Уточнение негативных экологических последствий на качественное состояние воды будущих водохранилищ, обусловленных зарегулированием стока р. Тимптон, и разработка природоохранных мероприятий по их минимизации или предотвращению возможны только после принятия решения о проектировании, определения мест размещения створов ГЭС и технологии подготовки ложа создаваемых водохранилищ.

Бюджетная тема (FWRS-2021-0014 АААА-А21-121032200058-0) «Системные исследования предстоящего развития интеллектуальных энергетических систем во взаимосвязи с окружающей средой северо-восточных регионов РФ (на примере Республики Саха (Якутия))».

Бюджетная тема (0297-2021-0023) «Растительный покров криолитозоны таежной

Якутии: биоразнообразии, средообразующие функции, охрана и рациональное использование», рег. номер АААА-А21-121012190038-0.

Список литературы

1. Мониторинг по реализации Энергетической стратегии РС (Я) на период до 2030 года. Цели и задачи Энергетической стратегии РС (Я) на период до 2032 года с целевым видением до 2050 года (этап 1). Якутск. С. 205.
2. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. [Электронный ресурс]. URL: http://www.pfo.meteorf.ru/assets/files/1771/r_52.24.353-... (дата обращения: 20.04.2022).
3. Денисова А.И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования. Киев: Наукова думка, 1979. 292 с.
4. Лабутина Т.М. Формирование и прогнозирование гидрохимического режима водохранилищ Северо-Востока СССР. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1985. 118 с.
5. Руководство по гидробиологическому мониторингу поверхностных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеониздат, 1992. 318 с.
6. Генкал С.И., Ярушина М.И. Диатомовые водоросли слабоизученных водных экосистем Крайнего Севера Западной Сибири. М.: Научный мир, 2018. 212 с.
7. Guiry M.D. in Guiry M.D., & Guiry G.M. (2019). Algae Base. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 07.03.2021).
8. Река Алдан. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.syl.ru/article/304991/reka-aldan-opisanie-priroda-i-interesnye-faktyi...> (дата обращения: 08.07.2022).
9. Николаева Н.А. Прогноз гидрохимического состояния воды в водохранилище Канкунской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2015. № 2. С.75–79.
10. Николаева Н.А. Прогноз качественного состояния воды водохранилища Канкунской ГЭС (Южная Якутия) // География и природные ресурсы. 2012. № 2. С. 46–50.
11. Исаев А.П. Динамика продуктивности листовидных древостоев мерзлотной зоны // Проблемы ботанических и лесоводческих исследований в РС (Я) и Финляндии. 2003. С. 114–119.
12. Николаева Н.А. Прогноз гидрохимического состояния проектируемых водохранилищ ГЭС в Южной Якутии // География и природные ресурсы. 2010. № 3. С. 120–125.
13. Тарлова А.Ф., Шептицкий В.А., Кузьмина В.В. Реакция различных систем организма рыб на фенол и его производные // Проблемы биологии продуктивных животных. 2018. № 4. С. 27–44.
14. Пшеничкова Е.В., Копырина Л.И. Водоросли реки Татта и ее пойменных озер (Центральная Якутия) // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2019. № 5 (73). С. 14–27.
15. Nikolaeva N.A., Salova T.A., Kopyrina L.I., Pinigin D.D. Ecological aspects of water quality investigation in connection with projects of hydropower plants' construction on the Timpton River, Yakutia, Russia. Polar Science. 2022. DOI: 10.1016/j.polar.2022.100843.