

Влияние сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной промышленности на водные зооценозы: обзор литературы

М. А. БАТУРИНА, О. Н. КОНОНОВА

*Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
167982, Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28
E-mail: baturina@ib.komisc.ru*

Статья поступила 16.04.2021

После доработки 27.04.2021

Принята к печати 30.04.2021

АННОТАЦИЯ

Целлюлозно-бумажное производство (ЦБП) активно развивается в северных регионах. Экосистемы северных рек обладают пониженной способностью к биологическому самоочищению, поэтому они более уязвимы перед антропогенным загрязнением. Для контроля над сохранением биоресурсов водоемов важную роль играет оценка их загрязнения. Обзор литературы, приведенный в настоящей статье, иллюстрирует ключевые факторы воздействия сточных вод предприятий ЦБП на водные экосистемы и будет полезен специалистам, работающим в системе мониторинга. В данной работе обсуждаются примеры влияния стоков ЦБП на водных беспозвоночных на разных уровнях организации – от молекулярного до экосистемного. Описаны ответные реакции водных зооценозов (зоопланктона и зообентоса) на загрязнение и воздействие специфических веществ, попадающих в водоемы со стоками целлюлозно-бумажных комбинатов. Эти данные получены как экспериментальным путем, так и в натуральных наблюдениях за водоемами. Проанализированы сведения о трансформации донных отложений рек и озер в зоне действия сточных вод различных комбинатов, динамика их изменений с момента введения очистных сооружений до момента снижения производственной нагрузки и уменьшения количества попадающих в водоемы загрязняющих веществ. Приведены данные, оценивающие влияние теплового загрязнения, которое часто характеризует сточные воды промышленных предприятий. Одной из крупных рек европейской части России является р. Вычегда. Учитывая важную роль ее бассейна в регионе, контроль за состоянием населяющих ее сообществ водных организмов является актуальной задачей. Дан краткий ретроспективный анализ гидро-биологических наблюдений, проведенных на водотоке в 80-х годах прошлого столетия, спустя 20 лет с момента пуска в эксплуатацию ЦБП. На тот период в реке были отмечены изменения, произошедшие в составе и структуре сообществ водных беспозвоночных в зоне влияния его сточных вод.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, сточные воды, водные экосистемы, водные беспозвоночные, зоопланктон, зообентос.

Целлюлозно-бумажное производство (ЦБП) широко развито в северных регионах за счет их высокого сырьевого потенциала. В связи с тем что это одно из самых водоемких производств, такие комбинаты, как правило, располагают вблизи крупных водоемов, с ак-

ватории которых происходит не только забор необходимой для обеспечения производства воды, но и в которые сбрасываются отработанные сточные воды. К примеру, в Карелии доля ЦБП в общем объеме водопотребления составляет 56 %, при этом на отрасль при-

ходится 52 % сброса загрязненных сточных вод от общего количества по республике [Государственный доклад..., 2005]. В Архангельской области целлюлозно-бумажные комбинаты (ЦБК) вовлекают в хозяйственный оборот почти 60 % воды, потребляемой в области. Наибольшая доля среди них приходится на Котласский ЦБК [Личутина и др., 2005]. В Республике Коми доля ЦБП составляет 17,4 % от общего объема водопотребления, на отрасль приходится 32,7 % сброса загрязненных сточных вод от их общего количества [Государственный доклад..., 2020]. При этом редко учитывается тот факт, что экосистемы северных рек, обладая большими запасами высококачественной пресной воды и ценной рыбной продукции [Яковлев, 2005; Moiseenko, 2018], характеризуются пониженной способностью к биологическому самоочищению, низкой степенью массо- и энергообменов, делающих их уязвимыми перед антропогенным загрязнением. Загрязняющие вещества органической и неорганической природы, попадающие со стоками промышленного производства в водотоки, могут переноситься от места сброса на значительные расстояния, накапливаться в водной среде, гидробионтах и донных отложениях, мигрировать по пищевым цепям. Для сохранения биоресурсов водоемов Арктического бассейна исключительно важную роль играет оценка уровня их загрязнения и охрана качества вод. Поэтому выяснение ключевых факторов негативного воздействия сточных вод, образующихся в результате производства, и поиск путей снижения отрицательных последствий деятельности этих предприятий представляют собой актуальную задачу.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ВОДНУЮ ЭКОСИСТЕМУ

Все исследования в этой области можно условно разделить на две большие группы: химические и биологические [Максименко и др., 2000]. Первые направлены на более углубленное изучение химических свойств сточных вод ЦБП и пути появления в них наиболее опасных загрязняющих веществ. Известно [Максименко и др., 2000; Effects ..., 2000; Altesor et al., 2008; Штамм и др., 2015; Хамитова,

2017], что основными загрязнителями сточных вод ЦБК являются органические вещества; как правило, это легко окисляемые сахара, органические кислоты, а также трудноокисляемые лигнин и его производные. В органическую часть сточных вод входят и различные токсические вещества: фенолы, сульфиды, фурфурол, скипидар. В результате химической обработки сырья в общем стоке могут присутствовать соединения серы, хлор, минеральные примеси различного химического состава. С промышленными стоками ЦБК в окружающую среду могут попадать токсичные хлорорганические соединения. Кроме того, в составе сточных вод ЦБК встречаются алкилфталаты, ароматические и алифатические углеводороды, жирные кислоты, а в отдельных случаях – альдегиды, кетоны, спирты, терпеноиды. Установлено [Штамм и др., 2015], что особенностью сточных вод различных ЦБП является высокое содержание инертных в отношении кислорода веществ восстановительной природы, эффективно взаимодействующих с пероксидом водорода, которые не задерживаются очистными сооружениями и определяют формирование токсичности для природных вод. В то же время содержание в сточных водах контролируемых загрязняющих веществ (ионов тяжелых металлов, хлорорганических соединений, полиароматических углеводородов, нефтепродуктов и пр.) может варьировать в широких пределах, оказывая при этом лишь второстепенное влияние на токсические свойства вод, что и было показано [Максименко и др., 2000] в ходе натурных исследований, проведенных на предприятиях ЦБП, расположенных в бассейне р. Северной Двины (Сыктывкарский лесопромышленный комплекс (ЛПК), Сокольский, Сухонский, Котласский ЦБК) в 90-х годах прошлого века.

Вторая группа исследований нацелена преимущественно на оценку влияния сточных вод ЦБП на водные организмы, с учетом, что сброс сточных вод может генерировать в биоте широкий спектр эффектов на разных уровнях организации – от молекулярного до экосистемного.

Воздействие сточных вод предприятий чаще изучают экспериментальным путем в токсикологических лабораториях [Гулин, 1992; Effects..., 2000; Мичукова и др., 2006;

Моисеева и др., 2008; Hall et al., 2009; Syarki, Kalinkina, 2010; Kalinkina et al., 2013], реже – непосредственно на водоемах [Pöykiö et al., 2004; Ербаева, Сафронов, 2010; Калихан, 2011; Кислицына, 2012; Timakova et al., 2014; Хамитова, 2017].

Показано [Исаченко-Боме, 2004; Altesor et al., 2008], что на молекулярном уровне многокомпонентный химический состав сточных вод может вызывать у организмов различные ответные реакции: изменение активности ферментов, хромосомные генные мутации, нарушение регуляции клеточного метаболизма, липидного, белкового и энергетических обменов, ослабление иммунитета. Так, в результате проведенных экспериментов [Syarki, Kalinkina, 2010] установлен эффект увеличения показателей роста и плодовитости *Daphnia magna* Straus под действием лигносульфоната натрия. Производные лигнина, имея ароматическую природу, как и многие стимуляторы роста, вероятно, способны биохимическим путем, через изменение гормонального статуса, стимулировать рост и размножение водных организмов. Возможно, с этими процессами связана выявленная в Кондопожской губе Онежского озера, принимающей сточные воды Кондопожского ЦБК, значительная интенсификация размножения и роста численности *Daphnia cristata* Sars [Syarki, Kalinkina, 2010].

На индивидуальном (организменном) уровне среди задокументированных эффектов влияния сточных вод установлено снижение скорости роста и выживаемости животных [Исаченко-Боме, 2004]. Например, у моллюсков [Никитина, Евдокимова, 2010] отмечали повышенное выделение слизи, нарушение скорости клеточного деления парамеций, нарушения в работе выделительного и пищеварительного аппаратов. Указывают [Altesor et al., 2008], что в литературе чаще встречаются работы, посвященные влиянию компонентов сточных вод на рыб. У них регистрируют патологии печени (некроз, фиброз, появление очагов вакуолизированных и базофильных клеток), развитие гиперплазии желчных протоков [Лукин и др., 2010], искривление позвоночника, водянку желточного мешка, потемнение кожных покровов [Никитина, Евдокимова, 2010], у самок наблюдают маскулинизацию, уменьшение размера

гонад и продукции яиц, изменение вторичных половых признаков, задержку созревания [Hewitt et al., 2006; Altesor et al., 2008; Singh, Chandra, 2019].

На популяционном уровне у водных организмов описаны: снижение плодовитости, изменение биомассы, численности, размерно-весовой, половой, генеративной и пространственной структуры, гибель наименее устойчивых особей популяции [Effects..., 2000; Исаченко-Боме, 2004; Altesor et al., 2008; Мелехова и др., 2012]. Экспериментально установлено, что стоки сульфатного производства токсичны для икры рыб, мальков, половозрелых рыб и представителей зоопланктона (дафний) [Моисеева и др., 2008; Волкова и др., 2009]. Например, у инфузорий, гидр и мшанок происходили морфофункциональные изменения, ингибирование полового и бесполого размножения, у паразитов рыб на разных стадиях развития – изменение поисковой активности, что может стать причиной “выпадения” этих групп из водных экосистем [Никитина, Евдокимова, 2010]. Один из немногих примеров воздействия стоков ЦБП непосредственно на процесс взаимодействия между организмами – анализ отношений “паразит – хозяин” [Khan, Billiard, 2007]. Авторы отмечали увеличение эктопаразитов и уменьшение эндопаразитов у рыб, обитающих вблизи от места сброса сточных вод.

Оценить трансформации, происходящие на биоценотическом и экосистемном уровне непосредственно в естественных водоемах, подверженных влиянию стоков, гораздо сложнее, так как невозможно выделить конкретный негативный фактор. Однако можно ожидать, что на биоценотическом уровне будут наблюдаться изменения видовой, размерной и трофической структуры, характера доминирования, нарушение межвидовых связей и межпопуляционных отношений; на экосистемном – нарушение вещественно-энергетического круговорота, разбалансировка биотического круговорота, изменение направленности продукционно-деструкционных процессов, трофического статуса водоемов, процессов самоочищения [Исаченко-Боме, 2004]. Непосредственно с токсическим эффектом сточных вод связаны такие структурные изменения в водных сообществах, как исчезновение видов с узкими экологическими спек-

рами, замена их резистентными видами с высокими продукционными возможностями, создающими большие биомассы. Увеличение техногенной нагрузки на водоем, согласно ряду примеров [Яковлев, 2005; Timakova et al., 2014], неизбежно приводит к снижению видового разнообразия и уменьшению сложности структурной организации сообществ.

РЕАКЦИИ СООБЩЕСТВ ВОДНЫХ ОРГАНИЗМОВ НА ВЛИЯНИЕ СТОЧНЫХ ВОД

Из всего многообразия имеющихся исследований становится понятным, что влияние стоков на экосистему водоема складывается из множества факторов, из которых можно выделить влияние химических веществ, содержащихся в сточных водах, тепловое загрязнение в результате попадания в водотоки подогретых вод и опосредованное влияние фактора – через изменение среды обитания.

Влияние токсических веществ

Реакции водных организмов на токсические вещества, присутствующие в сточных водах, сильно варьируют. Как показали многочисленные экспериментальные и натурные наблюдения, наибольшую уязвимость проявляют консументы высших порядков (личинки рыб) и первого уровня (планктонные рачки), в то время как детритоядные бентосные формы чаще оказываются самыми устойчивыми к действию сточных вод ЦБП. Известно [Гулин, 1992; Мичукова и др., 2006; Syarki, Kalinkina, 2010; Кислицина, 2012], что содержащиеся в сточных водах меркаптан, фенолы, смолы, сульфиды и ряд других оказывают прямое токсическое действие на гидробионтов, которое усиливается вследствие снижения концентрации кислорода в воде. Ранее на примере Сегежского ЦБК [Моисеева, 2005; Моисеева и др., 2008] показано, что виды водных животных, чувствительные к дефициту кислорода, менее устойчивы и к действию токсических веществ антропогенного происхождения по сравнению с видами, способными к переходу на анаэробный обмен. Более устойчивые к недостатку кислорода виды выработали в ходе эволюции механизмы, позволяющие им существовать в условиях гипоксии и противостоять действию

токсических веществ, в том числе и антропогенного происхождения, что было установлено, к примеру, в Выгозере, в зоне выпуска сточных вод Сегежского ЦБК, где доминирующими группами бентоса оставались личинки Chironomidae и Oligochaeta [Соколова, 1978]. У оксифильных видов такие адаптации менее выражены, что обуславливает их повышенную уязвимость к действию сточных вод. Эти данные подтверждаются большим объемом современных экспериментальных исследований с использованием тест-объектов разного систематического и экологического положения [Effects..., 2000; Моисеева и др., 2008]: самые устойчивые к сточным водам виды (представители зообентоса) по результатам биотестирования оказываются и самыми резистентными в зонах загрязнения водоемов по данным полевых наблюдений.

Влияние температуры

Сточные воды ЦБК обладают повышенной температурой [Effects..., 2000; Хамитова, 2017] и могут стать причиной теплового загрязнения водоемов [Семерной, 2005]. Так, в бассейне р. Выгедга [Елсаков, Щанов, 2016] в зоне влияния сточных вод АО “Монди СЛПК” анализ температурных каналов спутниковых изображений Landsat достаточно отчетливо демонстрирует наличие точек сброса промышленных вод предприятия по сформированному за ними температурному шлейфу. По спутниковым изображениям показано повышение температурных показателей в начале шлейфа сброса вод АО “Монди СЛПК” до 9–10 °С и его превышение над фоновым показателем на участке протяженностью до 15 км.

Изменение температурного режима среды обитания может влиять на водные организмы косвенно, через модификацию самих водоемов (изменение гидрологического режима, эвтрофирование и т. д.), и напрямую, воздействуя как на структуру сообществ (перестройка доминантного комплекса, биологические инвазии и т. д.), так и на биологию отдельных видов. Организмы зоопланктона зачастую быстрее реагируют на эти процессы благодаря коротким жизненным циклам. Даже незначительные, на 1–2 °С, колебания в температурном режиме водоемов при-

водят к нарушению половой структуры популяций планктонных организмов, сдвигу фаз появления особей, размножающихся половым путем, и их разобщению во времени, вследствие чего происходит нарушение естественного сезонного цикла развития видов [Алексеев, Хозяйкин, 2009]. Изменение структуры популяций и биологии ключевых видов может привести к серьезным нарушениям в структуре пищевых цепей планктонных сообществ, что влечет за собой трансформацию всей трофической системы водоема в целом [Chen, Felt, 1996; Wagner, Benndorf, 2007; Dupuis, Hann, 2009; Winder et al., 2009]. Нарушение температурного режима водоемов приводит, в том числе, к изменениям в кормовой базе, увеличению периода индивидуального развития, перестройке возрастной структуры популяции – росту доли более молодых особей и достижению организмами зрелости при меньших размерах, что оказывает влияние и на размерную структуру гидробионтов, вызывая увеличение размеров одних и уменьшение других [Beznosov, Suzdaleva, 2004; MacLennan et al., 2012]. Повышение температуры воды в водоемах индуцирует появление большого процента особей с различными отклонениями в строении тела, что может носить как приспособительный характер [Di'eguez et al., 1998; Beznosov, Suzdaleva, 2004], так и быть результатом аномального развития организмов [Beznosov, Suzdaleva, 2004]. На примере Котласского ЦБК (р. Вычегда) показано [Герасимова, 1992], что изменение температурного режима водоема может стать причиной полной элиминации сообществ. Кроме того, с повышением температуры воды для водных организмов увеличивается токсичность большинства химических соединений, что связывают с ускорением метаболизма животных. В большей степени эти процессы изучены на примере рыб [Cairns et al., 1975], в то время как данных по беспозвоночным крайне мало [Effects..., 2000].

Изменение среды обитания

В литературе часто встречаются примеры опосредованного влияния стоков ЦБК на водных беспозвоночных через изменение среды их обитания. Так, в реках планктонные организмы развиваются прежде всего в прибре-

жье, на участках с замедленным течением, среди зарослей водных макрофитов. Попадающие в водоток со сточными водами вещества, образующиеся при деструкции лигнина, оказывая отрицательное влияние на функционирование водных растений, способствуют замещению, с течением времени, обычных для водоема видов макрофитов на более устойчивые, например, такие как *Elodea canadensis* Michx. [Кислицына, 2012], и, как следствие, изменению состава и структуры планктонных сообществ.

Изменения, происходящие в сообществах водных организмов, населяющих водоемы, подверженные влиянию сточных вод ЦБП, носят разнообразный характер, что подтверждается существующими натурными исследованиями. Так, в районах выброса сточных вод ЦБП может происходить угнетение планктоценозов [Худяков, 2004] и формирование условно “мертвых зон” [Кренёва, 2012], что наблюдали при изучении влияния стоков целлюлозно-бумажных заводов городов Приозерска, Питкяранты, Кондопоги и на Байкале в районе Байкальского ЦБК, а в начале 70-х годов – в районе сброса сточных вод в пелагической части оз. Выгозеро [Теканова и др., 2011]. В Кондопожской губе, в период максимального развития антропогенного эвтрофирования в начале 90-х годов, отмечены изменения обилия и соотношений видов, составляющих сообщество планктонных животных [Timakova et al., 2014]. В зоне действия Байкальского ЦБК [Худяков, 2004] в 2000-х годах описано снижение осенней биомассы и средней общей численности массового планктонного рачка *Epischura baicalensis* Sars., что является доказательством того, что его популяция в Южном Байкале функционирует в состоянии, не воспроизводимой до архивной нормы (1965 г.), с определенно выраженной патологией антропогенной природы.

Известно, что нерастворимые органические вещества, попадающие в водотоки со сточными водами [Волкова и др., 2009; Щетинина и др., 2012], могут образовывать донные отложения толщиной в несколько метров, приводя к образованию подобных “мертвых зон” и для зообентоса. Такой эффект в начале 80-х годов наблюдали в Кондопожской губе [Timakova et al., 2014; Калинин, Белкина, 2018] и в Выгозере [Теканова и др., 2011], где

аккумуляция разлагающихся осадков сопровождалась развитием анаэробных процессов и угнетением бентосных сообществ. В оз. Байкал, в зоне влияния Байкальского ЦБК [Калихман, 2011] уже в первое десятилетие после пуска (60–70-е годы) и сброса очищенных стоков произошло формирование зоны (около 30 км²) с нарушенным гидрохимическим режимом и загрязнением донных отложений, что привело к снижению численности и биомассы бентических сообществ, их перестройке [Ербаева, Сафронов, 2010]: в сообществе хируномид (*Chironomidae*) наблюдали увеличение количественных показателей при сокращении видового состава, в доминантный комплекс вошли виды, не многочисленные в контрольных биотопах, до полного отсутствия животных в некоторых пунктах.

После запуска станций биологической очистки на ряде предприятий в 80-е годы и снижения объемов производства в 90-е годы можно было наблюдать разнонаправленный характер изменений экологической ситуации на водоемах. К примеру, в Кондопожской губе [Timakova et al., 2014; Калинкина, Белкина, 2018] вплоть до 2000-х годов поступление токсичных веществ из донных отложений в придонные слои воды сохраняло зону интенсивного антропогенного воздействия, характеризующуюся дефицитом кислорода, определяющую бедность донной фауны. В Выгозере на фоне снижения токсического воздействия на биоту и увеличения выноса со сточными водами фосфора произошло накопление в верхних слоях донных отложений черных илов [Потахин и др., 2018], отличающихся высоким содержанием органических веществ, что способствовало росту численности и разнообразия бентоса [Теканова и др., 2011; Березина и др., 2013], к 2000-м годам в буферных зонах уже наблюдали изменения, указывающие на возможное восстановление фауны.

На примере ряда водотоков Канады [Culp et al., 2000] установлено, что поступление в реки сточных вод ЦБК, содержащих, помимо прочих веществ, соединения фосфора и азота [Bothwell, 1992], приводит к значительным изменениям первичной продукции, что определяет увеличение продуктивности пищевых сетей в целом [Hall et al., 1991; Bothwell, 1992; Dubè et al., 1997; Culp et al., 2000] и меняет состав бентических и водо-

рослевых сообществ [Hall et al., 1991]. В результате, вниз по течению от места сбросов, наоборот, наблюдают не угнетение, а рост обилия и разнообразия бентосных беспозвоночных [Effects..., 2000], что связывают именно с увеличением источников пищи (например, бентосных водорослей и бактерий) более, чем с токсическим эффектом от стоков предприятия. Этот эффект может быть особенно важен в олиготрофных реках [Culp et al., 2000]. В литоральной зоне озер при обогащении биогенными веществами (в минеральной или органической форме) водоем как экологическая система может стать чрезмерно перегруженным ими. Следствием этого будет бурное развитие водорослей – “цветение воды”, как отмечалось в 2008–2013 гг. в оз. Байкал в зоне воздействия ООО “ЛПК Севлес” (г. Северобайкальск) [Timoshkin et al., 2015].

Влияние загрязняющих веществ, попадающих в реки со стоками ЦБП, на водные сообщества может происходить не только непосредственно в месте их сброса, но и растягиваться на многие километры вниз по течению. В устьевой области р. Северной Двины [Воробьева и др., 2010] в зоне действия Архангельского и Соломбальского ЦБК в начале 2000-х годов нарушения в состоянии планктонных сообществ установлены в 0,5 и 4 км ниже сброса сточных вод. Бактериопланктон в районе сброса достигал максимального обилия и качественного разнообразия, увеличивалась доля гетеротрофных бактерий. Ниже по течению его структура оставалась измененной по сравнению с фоновым биотопом; в общей численности микроорганизмов в водах реки снизилась доля кокковых форм с 71–90 до 56–80 %. В первую очередь на загрязнение реагировал фитопланктон, уже через 0,5 км ниже сброса сокращая численность и разнообразие. В зоопланктоне снижение численных показателей происходило на расстоянии 4 км ниже сброса сточных вод. В состав ведущих комплексов на этих участках вошли β - α -мезосапробные виды на фоне снижения численности олиго- β -мезосапробных видов. Подобные процессы отмечали [Герасимова, 1992] в р. Вычегда в 1990 г. в зоне влияния поверхностного и глубинного сбросов Котласского ЦБК. В первом километре вниз по течению, вдоль левого берега и фарватера зарегистрировано резкое снижение видового разнообра-

зия и количественных показателей развития зоопланктона, что свидетельствовало о токсичном воздействии стоков для многих планктонных видов, приведшем далее к их элиминации. В двух километрах от сбросов видовой состав зоопланктона “выравнивался”, однако численность и биомасса все еще были ниже, чем в правобережной части. Кроме того, на качественное различие водных масс указывал рост численности коловратки *Brachionus angularis angularis* Gosse – представителя β-α-мезосапробной зоны, в сравнении с общей численностью зоопланктона по разрезу реки. На расстоянии 10 км при нарастании числа систематических единиц и снижении относительной численности *B. a. angularis* количественные показатели планктона оставались ниже, чем на фоновых участках. Подобный опосредованный эффект увеличения численности зоопланктона вниз по течению от места сброса сточных вод зарегистрирован и в р. Латроб (Австралия) [Harris et al., 1992].

В ряде исследований бентосных макробеспозвоночных речных сообществ [Harris et al., 1992; Effects..., 2000; Altesor et al., 2008] выше и ниже стоков ЦБП отмечалось отсутствие изменений в составе наиболее распространенных таксонов, однако при этом авторы указывали на тенденцию роста обилия и разнообразия вниз по течению от места сбросов сточных вод. Такой ответ экосистемы обычно наблюдают в начальной фазе процессов обогащения водоема питательными веществами. Непосредственно вниз по течению от сточных вод в бентических сообществах наблюдали увеличение плотности Chironomidae и Oligochaeta [Harris et al., 1992] и снижение этого показателя для Ephemeroptera и Plecoptera, что могло быть вызвано как стрессом от попадания сточных вод, так и различиями в среде обитания, и в первую очередь изменением типа субстрата. Показано [Effects..., 2000], что вниз по течению от сточных вод увеличивалась и толерантность бентоса к загрязнению. На примере Марийского ЦБК [Хамитова, 2017] в районе сбросов сточных вод по мере сокращения концентрации органических веществ на участках локального загрязнения описана определенная последовательность в смене преобладающих групп гидробионтов: бактериопланктон – фитопланктон (в направлении зеленые – синезеленые

водоросли) – зоопланктон (за счет ветвистых ракообразных). На участках наибольшего антропогенного эвтрофирования бентос зачастую представлен преимущественно формами беспозвоночных, способных к атмосферному дыханию, при улучшении состояния происходит увеличение разнообразия и представленности уже вторичноводных насекомых.

РЕТРОСПЕКТИВА ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКОСИСТЕМЫ Р. ВЫЧЕГДА В ЗОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АО “МОНДИ СЛПК”

Сыктывкарский ЛПК, один из крупнейших в России производителей бумажной продукции, начал свою работу в 1969 г. В 2008 г. предприятие переименовали в АО “Монди СЛПК”.

Первые исследования по оценке влияния сточных вод Сыктывкарского ЛПК на водные сообщества р. Вычегда провели сотрудники Института биологии Коми НЦ УрО РАН в конце 80-х годов прошлого века, через 20 лет существования комбината. С пуском в 1969 г. первой очереди по производству беленой лиственной и хвойной сульфатной целлюлозы с использованием традиционных технологий с молекулярным хлором в р. Вычегда попадали в разной степени токсичные хлорорганические соединения [Троянская, 2019]. Состав воды в р. Вычегда ниже стоков с очистных сооружений в 80-е годы характеризовался содержанием аммонийного азота, превышающим ПДК во все сезоны года, присутствием фенолов, нефтепродуктов, тяжелых металлов, а также лигносульфатов, метанола, фурфурола и формальдегида [Власова, 1988]. Согласно неопубликованным материалам В. К. Барановской, показано, что видовой состав планктонных организмов изменился незначительно в сравнении с первоначальными исследованиями, проведенными в конце 1960-х годов [Барановская, 1969]. Исключение составили коловратки рода *Brachionus*, индикаторы эвтрофирования, разнообразие и численность которых возросли. Также обнаружены единичные экземпляры коловратки *Rotaria neptunia* (Ehrenberg), типичного полисапроба. В створах, расположенных ниже сброса сточных вод, увеличивались численность и биомасса зоопланктона при преобладании (80–90 %) коловраток,

указывая на возрастающую степень загрязнения реки, в отличие от верхних створов, где доминировали в основном ветвистоусые рачки (не менее 50 % численности и биомассы всех организмов). В р. Кылэг-ю (приток р. Вычегда), по которой в те годы направляли сброс сточных вод комбината, наблюдали высокую численность коловраток рода *Rotaria* и циклопа *Paracyclops poppei* (Rehberg). В составе зообентоса (по неопубликованным данным В. Н. Шубиной, Ю. В. Лешко) на участках сброса сточных вод в количественных пробах бентоса и дрифта встречено всего 12 таксономических групп, но, возможно, что личинки Simuliidae и Trichoptera, Hydrozoa были снесены с участков реки, расположенных выше по течению. Практически во всех пробах отмечали личинок хирономид (Chironomidae), низших ракообразных (Cladocera, Copepoda) и червей (Nematoda, Oligochaeta). В общей численности бентоса доминировали Nematoda и Oligochaeta (38,5 %) и личинки хирономид (42,4 %). Более 80 % общей массы бентоса приходилось исключительно на долю малощетинковых червей, что указывало на негативное состояние бентоценозов реки на этом участке. С учетом подвижности песчаных грунтов и большой скорости течения стрежневая часть русла была наиболее бедно населена, здесь обитали преимущественно хирономиды *Thienemanniella* и *Robackia demejerei* (Kruseman).

Непосредственно в районе сброса сточных вод в пробах указывались олигохеты подсемейства Tubificinae, увеличение численности которых может свидетельствовать о наличии органического загрязнения [Verdonschot, 1989]. Количественные показатели развития донной фауны на исследованном участке значительно отличались от описанных ранее для среднего течения реки [Зверева, 1969]. На основании полученных результатов авторами были сделаны выводы о наличии загрязнения экосистемы реки сточными водами предприятия.

В 90-х годах, согласно [Герасимова, 1992], влияние сточных вод Сыктывкарского ЛПК на воды р. Вычегда распространялось вниз по течению, вплоть до г. Коряжма (около 300 км), что подтверждалось высокими показателями численности зоопланктона выше водозабора г. Коряжма, доминировани-

ем в планктоне *B. angularis angularis* и развитием не характерных для фауны р. Вычегда *Brachionus diversicornis diversicornis* (Daday) и *B. calyciflorus spinosus* Wierzejski. В 1997 г. компания “Экополимер” [Щетинин и др., 2010] выявила проблемы технологии, используемой на очистных сооружениях канализации, в том числе неудовлетворительное качество очистки по органическим соединениям, аммонийному азоту и фосфору в связи с низкой концентрацией растворенного кислорода в аэротенках и повышенную температуру сточной жидкости предприятия.

С 2002 г. на предприятии начаты работы по изменению технологических процессов и модернизации очистных сооружений с целью снижения воздействия на окружающую среду. В результате за период с 2004 по 2006 г. снизились выбросы в атмосферу взвешенных веществ. В ходе поэтапной модернизации производства беленой целлюлозы на комбинате к 2008 г. завершен переход на отбелку без молекулярного хлора. В период с 2003 по 2011 г. показано [Троянская, 2019] снижение уровней загрязнения донных отложений р. Вычегда липофильными хлороорганическими соединениями.

На сегодняшний день АО “Монди СЛПК” является предприятием полного производственного цикла – от заготовки сырья до отгрузки готовой продукции потребителю. Производственные мощности комбината имеют стратегическое значение и для жителей Республики Коми. Так, водоочистные сооружения “Монди СЛПК” очищают свыше 80 млн м³ сточных вод в год, в том числе 100 % сточных вод г. Сыктывкара и близлежащих промышленных предприятий. Очищенные сточные воды направляются в р. Вычегда с соблюдением требований к водоемам рыбохозяйственного назначения. В 2019 г. на предприятии завершена масштабная модернизация очистных сооружений, которая велась пять лет на действующих сооружениях, реконструирован и построен ряд объектов, в том числе введена в действие принципиально новая третья ступень очистки сточных вод с помощью дисковых фильтров. Согласно [Государственный доклад ..., 2020], в 2019 г. общий объем забора воды был снижен на 2,38 %, в том числе за счет сокращения объема воды для охлаждения оборудования по АО “Монди СЛПК”.

Для оценки результатов масштабной модернизации производства, проведенной с целью снижения влияния промышленных стоков предприятия на окружающую среду, в период с 2018 по 2020 г. осуществлялись исследования современного состояния экосистемы р. Вычегда в зоне воздействия АО “Монди СЛПК”. Работа выполнялась в целях реализации совместного научно-исследовательского проекта “Оценка долговременного влияния АО “Монди СЛПК” на биологическое разнообразие в районе производства” в рамках Договора № 45-2018/180405 от 24 апреля 2018 г., заключенного между АО “Монди СЛПК” и Институтом биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар). За период выполнения проекта проведен комплекс полевых и лабораторных исследований, направленных на оценку биологического разнообразия и экологического состояния основных компонентов наземных и водных экосистем.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № АААА-А17-117112850235-2.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев В. Р., Хозяйкина А. А. Трансформация сезонных циклов у ветвистых ракообразных при слабом температурном воздействии // Тр. ЗИН РАН. 2009. Т. 313, № 1. С. 10–22.
- Барановская В. К. Планктонные ракообразные в верхнем и среднем течении Вычегды // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. Петрозаводск: КарНЦ, 1969. С. 55–57.
- Березина Н. А., Губелит Ю. И., Жакова Л. В., Тимакова Т. М., Петухов В. А., Шаров А. Н. Структурные характеристики биотических сообществ каменистой литорали Выгозерского водохранилища // Тр. Карел. НЦ РАН. 2013. № 6. С. 52–62.
- Власова Т. А. Гидрохимия главных рек Коми АССР. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1988. 152 с.
- Волкова И. В., Ершова Т. С., Шипулин С. В. Оценка качества воды водоемов рыбохозяйственного назначения с помощью гидробионтов. М.: Колос, 2009. 352 с.
- Воробьева Т. Я., Собко Е. И., Забелина С. А. Пространственно-временная изменчивость структуры планктонных сообществ экосистемы устья р. Северной Двины // Arctic Environ. Res. 2010. № 3. С. 36–42.
- Герасимова Т. Н. Оценка состояния вод р. Северной Двины и ее притоков на основе сообщества зоопланктона // Водн. ресурсы. 1992. № 3. С. 106–118.
- Государственный доклад “О состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2004 году”: гос. доклад / Министерство экологии и природных ресурсов Республики Карелия. Петрозаводск: РИО Карел. науч. центр РАН, 2005. 329 с.
- Государственный доклад “О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2019 году”: гос. доклад / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми. Сыктывкар: ГБУРК “Территориальный фонд информации Республики Коми”, 2020. 162 с.
- Гулин А. А. Изучение влияния сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной промышленности на рыбное население и потенциально кормовые организмы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 1992. 24 с.
- Елсаков В. В., Щанов В. М. Спутниковые методы в анализе изменений экосистем бассейна р. Вычегда // Современ. пробл. дистанц. зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13, № 4. С. 135–145. doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-13-135-145
- Ербаева Э. А., Сафронов Г. П. Хириноиды мягких грунтов Утулик – Мурино (Южный Байкал) в районе влияния БЦБК. Анализ многолетнего состояния (1975–2004 гг.) // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер.: Биология. Экология. 2010. Т. 3, № 1. С. 12–22.
- Зверева О. С. Особенности биологии главных рек Коми АССР в связи с историей их формирования. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969. 279 с.
- Исаченко-Боме Е. А. Оценка современного состояния водных экосистем бассейна реки Туры по структуре макрозообентоса в условиях хронического антропогенного воздействия: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок, 2004. 24 с.
- Калинкина Н. М., Белкина Н. А. Динамика состояния бентосных сообществ и химического состава донных отложений Онежского озера в условиях действия антропогенных и природных факторов // Принципы экологии. 2018. № 2. С. 56–74. doi: 10.15393/jl.art.2018.7643
- Калихан Т. П. Экосистемы юга озера Байкал в процессе адаптации к антропогенным воздействиям // География и природ. ресурсы. 2011. № 4. С. 55–61.
- Кислицына М. Н. Ответные реакции водных растений на действие сточных вод целлюлозно-бумажного комбината // Антропогенная трансформация природной среды. 2012. № 1. С. 211–214.
- Кренёва С. В. О качестве оценок и прогнозе деградации водных экосистем (на примере крупных озер) // Вестн. Южного науч. центра РАН. 2012. Т. 8, № 2. С. 41–47.
- Личутина Т. Ф., Мискевич И. В., Бровко О. С. Оптимизация нормирования сброса стоков предприятий ЦБП в водотоки. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 211 с.
- Лукин А. А., Шарова Ю. Н., Беличева Л. А. Оценка состояния организма рыб при загрязнении водных экосистем нефтепродуктами и отходами целлюлозно-бумажного производства // Рыб. хоз-во. 2010. № 6. С. 47–52.
- Максименко П. Ю., Скурлатов Ю. И., Козлов Ю. П., Фрог Б. Н., Штамм Е. В., Козлова Н. Б. Вероятная роль серосодержащих соединений в формировании токсических свойств сточных вод целлюлозно-бумажного производства // Вестн. РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2000. № 4. С. 63–70.
- Мелехова О. П., Коссова Г. В., Падалка С. М., Калистратова Е. Н. Экологические последствия слабых загрязнений водной среды // Ульянов. мед.-биол. журн. 2012. № 4. С. 131–136.
- Мичукова М. В., Канарский А. В., Канарская З. А. Изучение токсичности сточных вод целлюлозно-бумажного производства методом биотестирования на *Daphnia magna* Str. // Вест. Казан. технол. ун-та. 2006. № 1. С. 95–102.

- Моисеева В. П., Моисеева Е. А., Калинин Н. М. Устойчивость рыб и водных беспозвоночных к действию сточных вод сульфат-целлюлозного производства в связи с их экологическими особенностями // Уч. зап. Петрозавод. гос. ун-та. 2008. № 2 (92). С. 68–72.
- Моисеева Е. А. Эколого-токсикологическая оценка влияния сточных вод целлюлозно-бумажного производства на водные организмы (по анализу работы Сеgezского ЦБК): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2005. 24 с.
- Никитина С. М., Евдокимова Е. Б. Адаптивные реакции гидробионтов на биологически активные вещества антропогенного происхождения // Вестн. Рос. гос. ун-та им. И. Канта. 2010. № 1. С. 83–87.
- Потахин М. С., Белкина Н. А., Слуковский З. И., Новицкий Д. Г., Морозова И. В. Изменение донных отложений Выгозера в результате многофакторного антропогенного воздействия // Общество. Среда. Развитие. 2018. № 3. С. 107–117.
- Семерной В. П. Санитарная гидробиология. Ярославль: ЯрГУ, 2005. 203 с.
- Соколова В. А. Донная фауна Выгозерского водохранилища // Гидробиология Выгозерского водохранилища. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1978. С. 89–103.
- Теканова Е. В., Лозовик П. А., Калинин Н. М., Куликова Т. П., Полякова Т. Н., Рябинкин А. В., Сластичева Ю. Л., Тимакова Т. М., Чекрыжева Т. А. Современное состояние и трансформация северной части Выгозерского водохранилища // Тр. Карел. НЦ РАН. 2011. № 4. С. 50–56.
- Троянская А. Ф. Хлороорганические соединения в донных осадках реки Вычегды на территории Республики Коми в условиях изменяющейся антропогенной нагрузки // Регион. экология. 2019. № 1 (55). С. 108–124. doi: 10.30694/1026-5600-2019-108-124
- Хамитова М. Ф. Исследование изменений гидробиологических характеристик в условиях локальных загрязнений в регионе Средней Волги: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Казань, 2017. 30 с.
- Худяков В. И. Пространственное распределение и состояние планктона озера Байкал в районе действия сточных вод целлюлозно-бумажного комбината: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 24 с.
- Штамм Е. В., Скурлатов Ю. И., Швыдкий В. О., Байкова И. С., Вичутинская Е. В. Природа токсического воздействия сточных вод предприятий целлюлозно-бумажного производства на водные экосистемы // Хим. физика. 2015. Т. 34, № 6. С. 22–29. doi: 10.1134/S1990793115030197
- Щетинин А. И., Костин Ю. В., Андреев Е. Л., Есин М. А., Малбиев Б. Ю., Демяненко Е. В., Юрченко В. А. Сыктывкарский ЛПК: решение проблем очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 11. С. 34–38.
- Щетинина Е. В., Максимов В. В., Максимова Э. А. Оценка современного состояния донных отложений в районе Байкальского ЦБК по микробиологическим показателям // Вестн. ИРГСХА. Молодежный: Иркут. гос. агр. ун-т им. А. А. Ежевского. 2012. № 48. С. 158–163.
- Яковлев В. А. Пресноводный зообентос северной Феноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика). Ч. 1. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2005. 161 с.
- Altesor A., Eguren G., Mazzeo N., Panario D., Rodriguez C. La industria de la celulosa y sus efectos: certezas e incertidumbres // Ecología Austral. 2008. Vol. 18. P. 291–303.
- Beznosov V. N., Suzdaleva A. L. Potential changes in aquatic biota in the period of global climate warming // Water Resour. 2004. Vol. 31, N 4. P. 459–464.
- Bothwell M. L. Eutrophication of rivers by nutrients in treated kraft mill effluent // Water Pollut. Res. J. Can. 1992. Vol. 27, N 3. P. 447–472.
- Cairns Jr. J., Heath A. G., Parker B. C. The effects of temperature upon the toxicity of chemicals to aquatic organisms // Hydrobiologia. 1975. Vol. 47. P. 135–171.
- Chen C. Y., Felt C. L. Consequences of fall warming for zooplankton overwintering success // Limnol. Oceanogr. 1996. Vol. 41, N 5. P. 1077–1086.
- Culp J. M., Podemski Ch. L., Cash K. J. Interactive effects of nutrients and contaminants from pulp mill effluents on riverine benthos // J. Aquat. Ecosyst. Stress and Recovery. 2000. Vol. 8. P. 67–75. doi: 10.1023/A:1011452108483
- Di'eguez M., Modenutti B., Queimaliños C. Influence of abiotic and biotic factors on morphological variation of *Keratella cochlearis* (Gosse) in a small Andean Lake // Hydrobiologia. 1998. Vol. 387/388. P. 289–294.
- Dubé M. G., Culp J. M., Scrimgeour G. Nutrient limitation and herbivory: processes influenced by bleached kraft pulp mill effluent // Can. J. Fish. and Aquat. Sci. 1997. Vol. 54. P. 2584–2595.
- Dupuis A. P., Hann B. J. Climate change, diapause termination and zooplankton population dynamics: an experimental and modeling approach // Freshwater Biol. 2009. Vol. 54. P. 221–235. doi: 10.1111/j.1365-2427.2008.02103.x
- Effects of water temperature and treated pulp mill effluent on survival and growth of *Daphnia magna* (Cladocera: Daphniidae) and *Taenionema* (Plecoptera: Taeniopterygidae) // Prepared for Alberta Environment as Alberta Environment Sustainable Forest Management Research Program. 2000. 34 p. (Web Site: <http://www3.gov.ab.ca/env/info/infocentre/publist.cfm>).
- Hall T. J., Fisher R. P., Rodgers J. H., Minshall G. W., Landis W. G., Kovacs T., Firth B. K., Dube M. G., Flinders C. A., Deardorff Th. L., Borton D. L. A Long-term, multitrophic level study to assess pulp and paper mill effluent effects on aquatic communities in four us receiving waters: lessons learned // Integrated Environ. Assessment and Management. 2009. Vol. 5, N 2. P. 283–290. doi: 10.1897/IEAM_2008-058.1
- Hall T. J., Haley R. K., LaFleur L. E. Effects of biologically treated bleached kraft mill effluent on cold water stream productivity in experimental stream channels // Environ. Toxicol. and Chem. 1991. Vol. 10. P. 1051–1060.
- Harris J. H., Scarlett G., MacIntyre R. J. Effect of a pulp and paper mill on the ecology of the La Trobe River, Victoria, Australia // Hydrobiologia. 1992. Vol. 246. P. 49–67.
- Hewitt L. M., Parrott J. L., McMaster M. E. A decade of research on the environmental impacts of pulp and paper mill effluent in Canada: sources and characteristics of bioactive substances // J. Toxicol. and Environ. Health. Part B. Critical Reviews. 2006. Vol. 9 (4). P. 341–356. doi: 10.1080/15287390500195976
- Kalinkina N. M., Berezina N. A., Sidorova A. I., Belkina N. A., Morozov A. K. Toxicity bioassay of bottom

- sediments in large water bodies in Northwestern Russia with the use of crustaceans // *Water Resour.* 2013. Vol. 40, N 6. P. 657–666. doi: 10.1134/S0097807813060055
- Khan R. A., Billiard S. M. Parasites of winter flounder (*Pleuronectes americanus*) as an additional bioindicator of stress-related exposure to untreated pulp and paper mill effluent: a 5-year field study // *Arch. Environ. Contaminat. and Toxicol.* 2007. Vol. 52. P. 243–250. doi: 10.1007/s00244-006-0082-7
- MacLennan M. M., Arnott S. E., Strecker A. L. Differential sensitivity of planktonic trophic levels to extreme summer temperatures in boreal lakes // *Hydrobiologia.* 2012. Vol. 680. P. 11–23. doi: 10.1007/s10750-011-0896-9
- Moiseenko T. I. Anthropogenic processes in continental waters of Arctic regions and criteria for their assessment // *Water Resour.* 2018. Vol. 45, N 4. P. 578–588. doi: 10.1134/S0097807818040176
- Pöykiö R., Taskila E., Perämäki P., Nurmesniemi H., Kivlinna V.-A., Kuokkanen T., Virta P. Sediment, perch (*Perca fluviatilis* L.) and bottom fauna as indicators of effluent discharged from the pulp and paper mill complex at Kemi, Northern Finland // *Water, Air, Soil Pollut.* 2004. Vol. 158. P. 325–343. doi: 10.1023/B:WATE.0000044863.25825.e0
- Singh A. K., Chandra R. Pollutants released from the pulp paper industry: Aquatic toxicity and their health hazards // *Aquat. Toxicol.* 2019. Vol. 211. P. 202–216. doi: 10.1016/j.aquatox.2019.04.007
- Syarki M. T., Kalinkina N. M. Assessment of the effect that sodium lignosulfonate, the main component of wastewaters of pulp and paper industry, has on the state of natural and laboratory cladoceran populations // *Inland Water Biol.* 2010. Vol. 3, N 4. P. 369–374. doi: 10.1134/S1995082910040115
- Timakova T. M., Kulikova T. P., Litvinova I. A., Polyakova T. N., Syarki M. T., Tekanova E. V., Chekryzheva T. A. Changes in biocenoses of Kondopoga Bay, Lake Onego, under the effect of effluents from a pulp and paper mill // *Water Resour.* 2014. Vol. 41, N 1. P. 78–86. doi: 10.1134/S0097807814010126
- Timoshkin O. A., Bondarenko N. A., Volkova Ye. A., Tomberg I. V., Vishnyakov V. S., Malnik V. V. Mass development of green filamentous algae of the genera *Spirogyra* and *Stigeoclonium* (Chlorophyta) in the Littoral Zone of the Southern Part of Lake Baikal // *Hydrobiol. J.* 2015. Vol. 51, N 1. P. 13–23. doi: 10.1615/HydrobJ.v51i1.20
- Verdonschot P. F. M. The role of oligochaetes in the management of waters // *Hydrobiologia.* 1989. Vol. 180, N 1. P. 213–227. doi: 10.1007/BF00027554
- Wagner A., Benndorf J. Climate-driven warming during spring destabilises a *Daphnia* population: a mechanistic food web approach // *Oecologia.* 2007. Vol. 151. P. 351–364. doi: 10.1007/s00442-006-0554-5
- Winder M., Schindler D. E., Essington T. E., Litt A. H. Disrupted seasonal clockwork in the population dynamics of a freshwater copepod by climate warming // *Limnol. Oceanogr.* 2009. Vol. 54, N 6. Part 2. P. 2493–2505. doi: 10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2493

Impact of waste waters from the pulp and paper industry on aquatic zoocenoses: a review of the literature

M. A. BATURINA, O. N. KONONOVA

*Institute of Biology of Komi Science Centre of the UB of the RAS
167982, Syktyvkar, Kommunisticheskaya str., 28
E-mail: baturina@ib.komisc.ru*

The pulp and paper industry is developed in the northern regions. Ecosystems of northern rivers are less capable of biological self-rinsing and more sensitive to anthropogenic pollution. Assessing the pollution of water bodies is important for controlling the conservation of their bioresources. This article provides a literature review which illustrates the main impacts of wastewater of the pulp and paper industry on aquatic ecosystems. It will be useful for monitoring practitioners. This paper discusses examples of the impact of wastewater of the pulp and paper industry on aquatic organisms at different levels of organization – from the molecular to the ecosystem. The review describes the responses of aquatic zoocenoses (zooplankton and zoobenthos) to pollution and the effects of specific substances that enter water bodies from the effluents of the pulp and paper industry. The paper analyses information about transformation of bottom sediments of rivers and lakes in the wastewater zone. An overview of data is given, which evaluates the impact of thermal pollution. This type of pollution often characterizes industrial wastewater. One of the large rivers in the European part of Russia is the Vychegda River. The rivers in its basin are important in the Komi Republic. Therefore, monitoring the condition of communities of aquatic organisms that inhabit it is an urgent task. This paper presents the results of hydrobiological observations carried out in the Vychegda in the 1980s. At that time, changes in communities of aquatic organisms in the area of pulp and paper industry were shown.

Key words: pulp and paper industry, waste water, aquatic ecosystems, aquatic invertebrates.