

Рыбное население реки Вычегда в районе сброса очищенных сточных вод целлюлозно-бумажного производства

Р. Р. РАФИКОВ

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

Статья поступила 27.04.2021

После доработки 25.05.2021

Принята к печати 04.06.2021

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты исследования видового разнообразия и стабильности развития особей массовых видов рыб из акваторий р. Вычегда в районе выпуска сточных вод одного из крупнейших лесопромышленных производств на территории европейского северо-востока России. Показано, что за период с 2018 по 2020 г. в уловах стандартным набором сетей с ячейкой размером от 10 до 60 мм в литоральной зоне участков мониторинга преобладают окунь, плотва и уклейка. Данные виды являются широко распространенными представителями ихтиофауны в бассейне изучаемой реки. В уловах также отмечены белоглазка, жерех и судак, недавнее появление которых стало возможным благодаря строительству каналов, связывающих бассейн Северной Двины с другими речными системами. Показатели видового разнообразия (количество видов, их относительное обилие и информационный индекс Шеннона) на участках в районе лесопромышленного производства оказались сходными. Интегральный индекс оценки индивидуального развития, основанный на показателе флуктуирующей асимметрии, свидетельствует об отсутствии негативного влияния на формирование билатеральных морфологических структур в раннем онтогенезе у рыб, обитавших как в районе производства, так и на условно фоновом участке. Для уточнения полученных результатов рекомендовано проведение дополнительного исследования на предмет выявления физиологических нарушений в организме рыб или накопления тяжелых металлов или иных поллютантов в их тканях и органах.

Ключевые слова: европейский северо-восток России, ЦБК, сточные воды, рыбная часть сообщества, видовое разнообразие, флуктуирующая асимметрия.

Одной из серьезных экологических проблем, которая возникла в XX в., является влияние сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий на водные экосистемы [Штамм и др., 2015]. В ходе реализации научно-исследовательских и мониторинговых программ на территориях различных стран мира удалось установить, что сточные воды целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) содержат широкий спектр продуктов производствен-

ного цикла: лигнин, целлюлозу, органические вещества, а также биогенные элементы, химические соединения хлора, серы, тяжелых металлов, фенола, диоксины и смоляные кислоты и т. д. [Максименко и др., 2000; Штамм и др., 2015; Lindholm-Lehto et al., 2015; Mandeep et al., 2019]. Выпуск таких вод приводит к изменению физико-химических параметров среды принимающих их водных объектов, ускоряя процессы их эвтрофиро-

вания или вызывая перестройки в функционировании биоценозов [Colodey, Wells, 1992; Malmqvist et al., 1999].

Рыбы как конечное трофическое звено водной экосистемы вносят свой вклад в оценку антропогенного воздействия. Их видовое разнообразие в уловах является одним из критериев оценки воздействия сброса сточных вод на водные экосистемы [Методика..., 1975; Neuman, Karas, 1988; Hilty, Merenlender, 2000; География..., 2002; Markert et al., 2003]. Показаны существенные изменения в структуре рыбной части сообщества, выражающиеся в уменьшении количества видов и изменении характера доминирования за счет снижения численности представителей семейств лососевых и сиговых [Изменение..., 1982; Hall et al., 2009; Филатов и др., 2016]. Возможны последствия меньшего масштаба, включающие локальные изменения в акваториях, граничащих с местами выпуска сточных вод [Гулин, 1992; Greenfield, Bart, 2005]. Применение таких показателей, как возрастной состав, относительная численность и темп роста рыб, затруднительно вследствие влияния на них высокого уровня рыболовного изъятия. Их использование может смещать оценку и маскировать один вид антропогенного влияния (любительское рыболовство и браконьерство) под другой (влияние сточных вод ЦБК).

В работах зарубежных исследователей отмечено влияние на морфологические характеристики популяций рыб, обитающих в районе сброса сточных вод лесной промышленности. Выявлены аномалии развития плавников [Janssens de Bisthoven, L., 1999] жаберной крышки [Lindesjö et al., 1994] и позвоночного столба [Bengtsson, 1988]. Вследствие развития икры в водной среде ранний онтогенез является наиболее уязвимой стадией всего жизненного цикла рыбы [Жукинский, 1986]. В нормальных условиях организм реагирует на изменение факторов среды посредством сложной физиологической системы гомеостатических механизмов. При воздействии неблагоприятных условий эти механизмы могут быть повреждены, что приводит к нарушению развития или появлению онтогенетического шума [Van Valen, 1962]. Собственно нарушения развития (фенодевиации или аномалии) – это существенные изменения морфологии, встречающиеся крайне редко. Онтогенетический шум –

случайная изменчивость, которая может быть оценена по уровню флуктуирующей асимметрии (ФА) билатеральных структур [Захаров, 1987; Васильев, 2009]. ФА определяется как незначительные ненаправленные отклонения от строгой билатеральной симметрии [Palmer, 1994], которая принимается за генетически заданную норму. Согласно существующим представлениям, эта случайная изменчивость является нормальным явлением для живых организмов, а ее уровень отражает состояние системы и воздействие на них средового стресса [Онтогенез..., 2001]. Таким образом, ФА позволяет выявить уровни дестабилизации индивидуального развития в популяциях различных компонентов ценозов и определить наиболее уязвимые [Стрельцов, 2003]. Возможность ее применения для мониторинга антропогенного воздействия на среду обитания рыб показана в ряде работ [Parsons, 1992; Palmer, 1994; Leung et al., 2000; Palmer, Strobeck, 2003; Allenbach, 2011]. Подобная биоиндикационная оценка имеет ряд таких преимуществ, как простота получения необходимой информации, высокая чувствительность и возможность определять уровень воздействия в разные временные периоды.

В данной работе рассматривается рыбная часть сообщества р. Вычегда в районе производства АО “Монди СЛПК”. Это предприятие является одним из крупнейших на европейском северо-востоке России по переработке древесины. Его вклад в общепромышленный объем сброса сточных вод по бассейну р. Северной Двины на период начала 2000-х годов составлял порядка 7,5 % [Бреховских и др., 2009].

Основная цель данного исследования – охарактеризовать видовое разнообразие и стабильность развития особей массовых видов рыб р. Вычегда в районе выпуска сточных вод целлюлозно-бумажного производства.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для оценки видового разнообразия рыб р. Вычегда в зоне воздействия АО “Монди СЛПК” выбрано два участка мониторинга. Первый расположен в Эжвинском районе г. Сыктывкара и включает три пункта: на 0,5 км выше (точка 1) и возле сброса (точка 2), а также на 3 км ниже по течению от места сброса сточных вод (точка 3). На про-

тяжении 2 км по левой стороне реки располагается территория предприятия с выпуском сточных вод. Второй мониторинговый участок находится на 1 км ниже по течению р. Вычегда от д. Гавриловки и включает два пункта. Левый берег в месте расположения рассеивающего выпуска сильно изгибается, образуя заводь, где проводился отлов рыбы (точка 4). Второй пункт находится на 1 км ниже по течению (точка 5). Для сравнительного анализа нами также использованы данные о видовом разнообразии и относительном обилии видов рыб в уловах из р. Вычегда в районе пос. Приозерный (Корткеросский район), полученные в июле 2017 г. (точка 0). Детальная схема района исследования дана в статье [Патова и др., 2021 (наст. вып.)].

Гидрологические условия в местах установки орудий лова достаточно схожи. Были исследованы участки литоральной зоны с высшей водной растительностью, преобладающими глубинами 2–3 м и замедленным течением.

Экспедиционные работы проводились в течение 1–2 недель в конце июля – начале августа с 2018 по 2020 г. В качестве орудий лова нами использован стандартный набор сетей с размером ячеи от 10 до 60 мм и различные крючковые снасти (поплавочные и фидерные удочки, спиннинги). Ставные орудия проверялись не реже двух раз в сутки. Вследствие захламленности русла и отсутствия мест для притонения неводные орудия лова оказались неэффективными. Видовой состав рыб определялся на местах проведения работ при каждом случае проверки стационарных или применении крючковых орудий лова [Методика..., 1975].

Для корректной оценки видового разнообразия уловы из сети с размером ячеи 10 мм, представленные малоразмерными видами и неполовозрелыми особями, проанализированы отдельно. Используются показатели количества видов в сетных уловах (S) и их относительное обилие по численности (P_i). С целью обобщения полученной информации применялся учитывающий оба параметра индекс Шеннона. Расчет значений и проверка значимости его различий выполнены с использованием программного пакета PAST 3.25 с применением критерия Стьюдента [Hammer, 2001].

Для изучения аномалий развития морфологических структур использовано по 30 экз. массовых видов рыб, нерестово-выростные

угодия которых отмечены в зоне влияния выпуска сточных вод. К таковым относятся: лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758), плотва *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758), уклейка *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758) и окунь речной *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758. Особи указанных видов отловлены в точках 0, 2, 3 и 5, далее зафиксированы в 4%-м растворе формалина и в последующем обработаны в лаборатории.

Для определения показателей ФА использованы билатеральные меристические признаки рыб: количество прободенных чешуй по бокам тела, жаберных тычинок, лучей в грудных и брюшных плавниках. Учет проводился по обеим сторонам тела, рассматривая распределение всех односторонних значений признака справа и слева [Захаров и др., 2000; Методические рекомендации..., 2003].

Число жаберных тычинок определяли на наружной стороне первой жаберной дуги, учитывая в том числе рудиментарные и зачаточные тычинки. В грудных и брюшных плавниках отдельно подсчитывали ветвистые лучи. Для увеличения точности выявления количества лучей в плавниках и жаберных тычинок эти структуры окрашивали слабым раствором ализаринового красного [Якубовски, 1970].

При оценке ФА в группе особей определяли среднюю частоту асимметричного проявления на признак (ЧАП/П). Она рассчитана как средняя арифметическая числа асимметричных признаков у каждой особи по отношению к числу используемых признаков. При этом учитывался сам факт наличия асимметрии, вне зависимости от того, на какой стороне у особи значение признака оказывается выше, что позволяет устранить влияние отдельных сильно уклоняющихся вариантов. Для рыб использована балльная система оценок по величине интегральных показателей стабильности развития, позволяющая охарактеризовать качество среды в целом [Захаров и др., 2000].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рыбное население. За период проведения работ на исследованных участках мониторинга выявлено 16 видов рыб (табл. 1). Также обнаружены личинки миноги, относящиеся предположительно к сибирской миноге – *Lethenteron kessleri* (Anikin, 1905).

Видовое разнообразие рыбообразных и рыб в притоках, озерах и русле р. Вычегда

Семейство и вид рыбообразных и рыб	ФК	Бассейн р. Вычегда	Участок мониторинга
PETROMYZONTIDAE			
<i>Lethenteron camchaticum</i> (Tilesius, 1811) – тихоокеанская минога		+	–
<i>Lethenteron kessleri</i> (Anikin, 1905) – сибирская минога		+	+
I. ACIPENSERIDAE			
<i>Acipenser ruthenus</i> Linnaeus, 1758 – стерлядь	ДВ	+	+
II. CYPRINIDAE			
<i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758) – лец	ПК	+	+
<i>Abramis sapa</i> (Linnaeus, 1758) – белоглазка	ПК	+ С	+ С
<i>Blicca bjoerkna</i> (Linnaeus, 1758) – густера	ПК	+	+
<i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758) – уклейка	ПК	+	+
<i>Aspius aspius</i> (Linnaeus, 1758) – жерех	БР	+ С	+ С
<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758) – карась серебряный	БР	+	–*
<i>Carassius carassius</i> (Linnaeus, 1758) – карась золотой	БР	+	–
<i>Gobio gobio</i> (Linnaeus, 1758) – пескарь	БР	+	+
<i>Leucaspis delineates</i> (Heckel, 1843) – верховка обыкновенная	ПК	+	–
<i>Leuciscus cephalus</i> (Linnaeus, 1758) – голавль	БР	+	–*
<i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758) – язь	БР	+	+
<i>Leuciscus leuciscus</i> (Linnaeus, 1758) – елец	БР	+	+
<i>Rhynchocypris percunurus</i> (Pallas, 1814) – голянь озерный	БР	–	–
<i>Phoxinus phoxinus</i> (Linnaeus, 1758) – голянь обыкновенный	БР	+	+
<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758) – плотва	БР	+	+
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758) – красноперка	ПК	+	–
III. BALITORIDAE			
<i>Barbatula barbatula</i> (Linnaeus, 1758) – голец усатый	БП	+	–
IV. ESOCIDAE			
<i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758 – щука	БР	+	+
V. SALMONIDAE			
<i>Salmo salar</i> (Linnaeus, 1758) – лосось атлантический	БП	+	–
VI. COREGONIDAE			
<i>Coregonus lavaretus</i> (Linnaeus, 1758) – сиг обыкновенный	АП	+	–
<i>Stenodus leucichthys nelma</i> (Pallas, 1773) – нельма	АП	+	–
VII. THYMALLIDAE			
<i>Thymallus thymallus</i> (Linnaeus, 1758) – хариус европейский	БП	+	–
VIII. LOTIDAE			
<i>Lota lota</i> (Linnaeus, 1758) – налим	АП	+	+
IX. GASTEROSTEIDAE			
<i>Pungitius pungitius</i> (Linnaeus, 1758) – колюшка девятииглая	?	+	–
X. COTTIDAE			
<i>Cottus gobio</i> (Linnaeus, 1758) – подкаменщик обыкновенный	БП	+	–
XI. PERCIDAE			
<i>Gymnocephalus cernuus</i> (Linnaeus, 1758) – ерш обыкновенный	БР	+	+
<i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758 – окунь речной	БР	+	+
<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758) – судак	ДВ	+ С	+ С
XII. ODONTOBUTIDAE			
<i>Perccottus glenii</i> Dybowski, 1877 – ротан-головешка	КР	+А	–
ИТОГО: аборигены			
вселенцы		28	14
общее число видов		4	3
		32	17

П р и м е ч а н и е. Звездочкой отмечены виды рыб, которые не были отмечены, но могут встречаться в зоне влияния предприятия; ФК – фаунистический комплекс: БР – бореальный равнинный, АП – арктический пресноводный, БП – бореальный предгорный, ПК – понтокаспийский, КР – китайский равнинный, ? – неизвестный; С – саморасселение; А – акклиматизация.

По результатам исследования наибольшее развитие на выбранных участках получили представители бореального равнинного фаунистического комплекса (61 %). Понтокаспийский комплекс включает наиболее теплолюбивые виды рыб (22 %), а древний верхнетретичный – представителей ихтиофауны с разорванным типом ареала распространения (11 %), предпочитающие реки и озера с замедленным течением. Арктический пресноводный комплекс (6 %) представлен всего одним видом – налимом, широко распространенным и единственным пресноводным представителем семейства тресковых на территории европейского северо-востока России.

Подавляющее большинство выявленных видов рыб встречается на всех обследованных участках (рис. 1). Показатели относительного обилия рыб в уловах из ряда сетей с ячейей 20–60 мм на различных участках р. Вычегда довольно схожи. Основу рыбного населения исследованных биотопов составляют окунь и плотва (в сумме от 65 до 96 % в уловах). Густера, лещ, язь, щука и елец характеризуются меньшим обилием (от 1 до 13 %). Единично отмечены в уловах самостоятельно расселившиеся жерех, судак и белоглазка.

Уловы из мелкочейистой сети (10 мм) состоят преимущественно из молоди плотвы (28–59 %) и уклеи (32–56 %), которая

не встречается в уловах сетями с ячейей 20 мм и более, но является широко распространенным и массовым видом в русле р. Вычегда (табл. 2). Доля остальных видов рыб в уловах незначительна.

Видовое разнообразие рыб в уловах из ряда сетей с ячейей 20–60 мм, оцененное с помощью индекса Шеннона, на участках реки в районе производства АО “Монди СЛПК” имеет близкие значения (от 1,37 до 1,57). Достоверная разница выявлена при сравнении участка 0, расположенного на 90 км выше по течению р. Вычегда от места производства, участка 3 ($t_{st} = 7,6$ при $p < 0,001$), а также участка 4 ($t_{st} = 3,3$ при $p < 0,001$).

Флуктуирующая асимметрия. Оценка воздействия факторов среды на ранний онтогенез, полученная в результате расчета частоты асимметричного проявления на признак в выборках леща, плотвы, уклеи и окуня речного (табл. 3), отловленных на фоновом участке реки, соответствует условно нормальному (I балл) качеству среды или с незначительными отклонениями от нормы (II балла).

Показатель стабильности развития рыб, отловленных ниже по течению от мест сброски сточных вод АО “Монди СЛПК” (точки 2, 3 и 5), соответствует таковому у рыб, отловленных на фоновом участке. Исключение составила лишь выборка уклеи из точки 2, частота

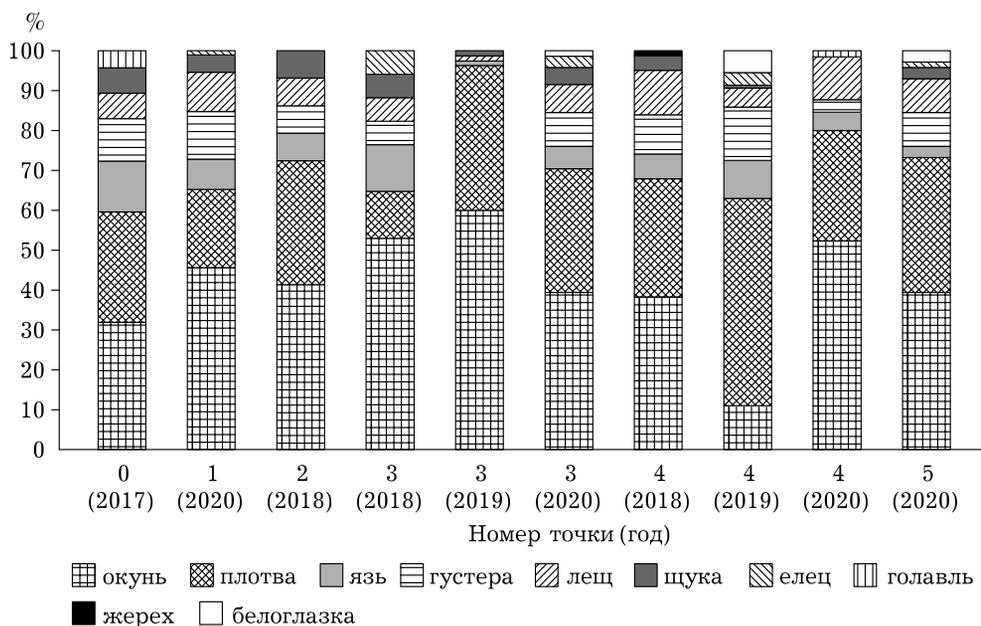


Рис. 1. Относительное обилие рыб в уловах из ряда сетей ячейей 20–60 мм на обследованных участках р. Вычегда

Относительное обилие рыб в уловах из сети с ячеей 10 мм на обследованных участках р. Вычегда

Место вылова по годам	Вид рыб, %							
	Уклейка	Плотва	Окунь	Язь	Ерш	Пескарь	Жерех	Щука
Точка 1 (2020)	48	34	5	5	3	5	–	–
Точка 2 (2018)	33	59	–	5	3	–	–	–
Точка 3 (2018)	34	50	–	8	4	2	–	2
Точка 3 (2020)	56	28	1	9	3	3	–	–
Точка 4 (2018)	36	54	–	4	1	1	3	–
Точка 4 (2020)	32	51	3	7	4	3	–	–
Точка 5 (2020)	33	35	11	17	2	2	–	–

Значение показателя ЧАП/П выборок рыб исследованных участков русла р. Вычегда

Место вылова	Вид рыб			
	Лещ	Плотва	Уклейка	Окунь
Точка 0	0,29 (I)	0,32 (II)	0,33 (II)	0,29 (I)
Точка 2	0,30 (II)	0,34 (II)	0,37 (III)	0,32 (II)
Точка 3	0,28 (I)	0,28 (I)	0,33(II)	0,33 (II)
Точка 5	0,34 (II)	0,31 (II)	0,34 (II)	0,33 (II)

П р и м е ч а н и е. Качество среды на основании значения шкалы оценки: I – условно нормальное, II – начальные (незначительные) отклонения от нормы, III – средний уровень отклонений от нормы, IV – существенные (значительные) отклонения от нормы, V – критическое состояние.

асимметричного проявления которой соответствует среднему уровню отклонений от нормы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Река Вычегда относится к водотокам высшей категории рыбохозяйственного использования. Современный видовой состав включает 32 вида рыбообразных и рыб [Соловкина, 1975; Атлас..., 2003; Биологическое разнообразие..., 2012; Сидоров, Решетников, 2014], однако на исследованных нами участках реки удалось выявить только половину от максимально возможного количества видов. Все они присутствовали в сетных уловах, за исключением стерляди, которую удалось поймать исключительно на донную крючковую снасть.

Основной причиной невысокого видового разнообразия рыб на участках мониторинга является его неравномерное распределение в пределах речного бассейна. Часть не отмеченных в районе производства АО “Монди СЛПК” видов (хариус европейский, под-

каменщик обыкновенный, верховка, карась золотой, голянь озерный, ротан-головешка) не обитает в условиях магистрального русла среднего течения р. Вычегда. Нельма характеризуется очень низкой численностью и включена в Красную книгу Республики Коми [Красная книга..., 2019], а атлантический лосось (семга) и вовсе использует данный участок реки только для миграций.

Распределение рыбного населения по фаунистическим комплексам также свидетельствует о том, что большая часть его представителей относится к бореальному равнинному фаунистическому комплексу (61 %), который включает виды рыб, приспособленные к обитанию в различных водоемах и водотоках бореальной зоны [Никольский, 1980]. Они являются широко распространенными обитателями Вычегодского бассейна [Бознак, 2003].

Появление судака, жереха и белоглазки в бассейне р. Вычегда связывают со строительством каналов, соединяющих бассейн Северной Двины с другими речными систе-

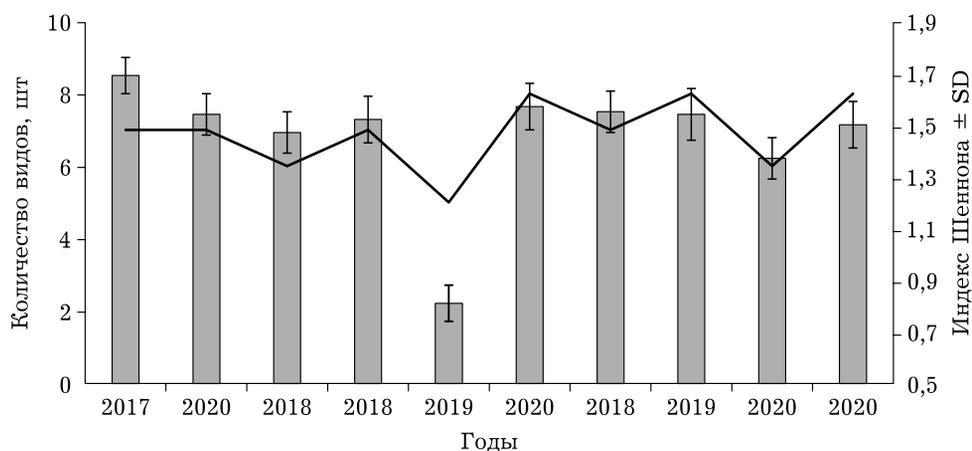


Рис. 2. Количество видов и индекс Шеннона для различных лет на обследованных участках р. Вычегда. Порядок исследованных местообитаний такой же, как на рис. 1. SD – стандартное отклонение

мами [Новоселов, 2000; Бознак, 2003; Захаров, Бознак, 2011]. Их присутствие исключительно на участках мониторинга могло бы указывать на влияние теплового загрязнения. Из опубликованных ранее работ сотрудников Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН известно, что поздней осенью и ранней весной наблюдается сильный контраст значений температуры зон сработки сточных вод предприятия. Амплитуда значений на спутниковых снимках может достигать здесь 7–9 °С [Елсакков, Щанов, 2016]. Однако достоверные поимки указанных видов рыб в магистральном русле р. Вычегда не только в районе производства АО “Монди СЛПК”, но и гораздо выше по течению свидетельствуют о процессе расширения их ареала в Северо-Двинском бассейне.

Необходимо отметить, что аномально высокий уровень воды в 2019 г. [Патова и др., 2021] стал причиной сильного снижения показателя видового разнообразия на участке 3. Оно объясняется уменьшением видового богатства (не были отмечены елец и лещ, присутствующие в уловах за 2018 и 2020 гг. исследований) и формированием четкой структуры доминирования плотвы и окуня в уловах, где остальные виды играли незначительную роль. Подобная картина наблюдалась и на участке 4 в 2020 г., когда уровень воды был достаточно низкий. В целом состав и структура уловов стабильны и характеризуются окуневоплотвичным ядром с постоянным присутствием нескольких второстепенных видов рыб.

Известно, что содержание в сточных водах загрязняющих веществ (ионов тяжелых

металлов, хлорорганических соединений, полиароматических углеводородов, нефтепродуктов и пр.) изменяется в широких пределах и при этом оказывает второстепенное влияние на токсические свойства речных вод [Штамм и др., 2015]. Показано, что ключевую роль в увеличении токсичности сточных вод различных ЦБП в отношении гидробионтов играют соединения восстановленной серы [Штамм и др., 2017].

По результатам анализа отобранных за период с 2018 по 2019 г. гидрохимических проб превышений ПДК для потенциально опасных элементов и веществ в местах выпусков очищенных сточных вод Сыктывкарского лесопромышленного комплекса не обнаружено. Ухудшение качества воды удалось зарегистрировать только в условиях маловодного 2020 г. при уменьшении степени разбавления речными водами стоков с очистных сооружений. В этот период на пунктах наблюдений отмечено достоверное превышение ПДК_{рх} ионов хлора, сульфатов, фосфатов, нитритов и нитратов, а также показателей химического потребления кислорода и перманганатной окисляемости и т. д. Более детальный анализ химического состава проб воды, отобранных на участках мониторинга, представлен в работе [Патова и др., 2021]. Температура, измеренная в период выполнения полевых работ, в местах сброса условно чистых сточных вод и на противоположном берегу от него отличается не более чем на 1 °С, что не подтверждает значимого увеличения температурного фона в местах выпуска сточных вод.

Показатели флуктуирующей асимметрии свидетельствуют о том, что нерестящиеся весной рыбы (плотва, лещ, окунь), отловленные как выше участков выпуска очищенных сточных вод, так и ниже их, характеризуются сходными оценками стабильности индивидуального развития. В качестве возможного объяснения можно предположить сильное разбавление сбрасываемых вод или отсутствие поллютантов в водной массе, которая затопливает нерестово-выростные угодья исследованных видов рыб. Интересным является факт, что у уклейки из района выпуска технической воды с ТЭЦ (точка 2) обнаружен средний уровень отклонений стабильности развития по сравнению с другими участками. Возможно, что вследствие порционного типа нереста вероятность совпадения каких-либо колебаний физических и химических условий среды с периодом раннего онтогенеза у нее выше, чем у остальных исследованных видов рыб. Однако каких-либо фенодивиаций (недоразвитость глаз, отсутствие плавников, аномалии в строении позвоночного столба или плавников) обнаружено не было. В целом можно утверждать, что интегральный индекс оценки индивидуального развития свидетельствует о сходных условиях протекания раннего онтогенеза у исследованных рыб.

Таким образом, отловленные туводные представители аборигенной ихтиофауны являются эврибионтными и широко распространенными в пределах бассейна видами, а окунево-плотвичное ядро наиболее типично для мест с замедленным течением. Это, а также отсутствие стабильно фиксируемого физико-химического воздействия от сброски очищенных сточных вод явилось причинами сходства видового состава и показателей относительного обилия представителей рыбного населения на исследованных местообитаниях.

Необходимо отметить, что существуют и другие механизмы влияния стоков подобных производств на рыб. Например, наличие в воде токсичных веществ может вызывать физиологические нарушения в организме рыб или накапливаться в различных тканях и органах. Изучая активность различных ферментов [Oakes et al., 2005], величину генетического разнообразия [Bickham et al., 2000;

Theodorakis et al., 2006] или применяя анализ стабильных изотопов ^{13}C и ^{15}N [Freedman et al., 2012], можно раскрыть дополнительную информацию о характере изучаемого воздействия, не выявляемую обычными экологическими методами. Определение содержания тяжелых металлов или химических соединений [Смирнов и др., 2010] становится наиболее актуальным аспектом оценки состояния рыбной части сообщества, если учитывать, что ниже по течению от выпуска очищенных сточных вод АО “Монди СЛПК” расположен ряд поселков, население которых потребляет обитающие здесь рыбные ресурсы в пищу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования показано, что количество видов в сетных уловах и их относительное обилие на участках сброса очищенных сточных вод АО “Монди СЛПК” и условно фоновых характеризуются сходными значениями. Ядро рыбной части сообщества литоральной зоны исследованных частей русла р. Вычегда достаточно стабильно и характеризуется доминированием плотвы, уклейки и окуня речного. Это широко распространенные и массовые виды рыб, составляющие основу любого прибрежного местообитания с замедленным течением. Наличие в уловах инвазивных видов (белоглазка, жерех и судак) отражает процесс их саморасселения по бассейну р. Вычегда. Оценка качества среды с помощью флуктуирующей асимметрии показывает незначительные отклонения от нормы в раннем онтогенетическом развитии рыб, обитавших как в районе производства АО “Монди СЛПК”, так и на фоновом участке.

Таким образом, выполненная работа не выявила выраженного негативного воздействия в районе производства АО “Монди СЛПК” на видовое разнообразие рыбной части сообщества и стабильность развития исследованных видов рыб.

Исследование выполнено в рамках темы госзадания № АААА-А17-117112850235-2 и при финансовой поддержке проекта “Оценка долговременного влияния АО “Монди СЛПК” на биологическое разнообразие в районе производства” (договор № 45-2018/180405).

ЛИТЕРАТУРА

- Атлас пресноводных рыб России: В 2 т. Т. 1. / под ред. Ю. С. Решетникова. М.: Наука, 2003. 379 с.
- Биологическое разнообразие Республики Коми. Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2012. 266 с.
- Бознак Э. И. Ихтиофауна реки Вычегды (морфология, биология, зоогеография): автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2003. 22 с.
- Бреховских В. Ф., Волкова З. В., Ломова Д. В. Оценка качества вод рек севера Европейской России по показателям окисляемости // Метрология и гидрология. 2009. № 5. С. 86–98.
- Васильев А. Г. Феногенетическая изменчивость и популяционная мерономия // Журн. общ. биологии. 2009. Т. 70, № 3. С. 195–209.
- География и мониторинг биоразнообразия. М.: Изд. науч. и уч.-мет. центра, 2002. 432 с.
- Гуллин 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 // Совер. пробл. дистанц. зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13, № 4. С. 135–145.
- Жукинский В. Н. Влияние абиотических факторов на разноразнообразие и жизнеспособность рыб в раннем онтогенезе. М.: Агропромиздат, 1986. 248 с.
- Захаров А. Б., Бознак Э. И. Современные изменения рыбного населения крупных рек Европейского Северо-Востока России // Рос. журн. биол. инвазий. 2011. № 1. С. 23–33. [Zakharov A. B., Boznak E. I. Current changes in fish population in large rivers of Russia in the European Northeast // Rus. J. Biol. Invasions. 2011. Vol. 1. P. 23–32]. <https://doi.org/10.1134/S2075111711020135>
- Захаров В. М. Асимметрия животных (популяционно-фенетический подход). М.: Наука, 1987. 215 с.
- Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И., Валецкий А. В., Кряжева Н. Г., Чистякова Е. К., Чубинишвили А. Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, Центр здоровья среды, 2000. 68 с.
- Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. 248 с.
- Красная книга Республики Коми. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2019. 768 с.
- 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.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
- Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Распоряжение Росэкологии от 16.10.2003. № 460-р. М., 2003. 28 с.
- Никольский Г. В. Структура вида и закономерности изменчивости рыб. М.: Пищевая пром-сть, 1980. 182 с.
- Новоселов А. П. Современное состояние рыбной части сообществ в водоемах Европейского Северо-Востока России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2000. 50 с.
- Патова Е. Н., Кондратёнок Б. М., Сивков М. Д., Кострова С. Н. Качество вод р. Вычегда в условиях поступления очищенных сточных вод целлюлозно-бумажного производства // Сиб. экол. журн. 2021. Т. 28, наст. вып. С. 696–714. (наст. вып.). doi: 10.15372/SEJ20210602 [Patova E. N., Kondratenok B. M., Sivkov M. D., Kostrova S. N. Water quality of the Vychegda River under the conditions of the receipt of treated wastewater from the pulp and paper industry // Contemporary Problems of Ecology. 2021. Vol. 14, N 6. (in press)]
- Сидоров Г. П., Решетников Ю. С. Лососеобразные рыбы водоемов европейского Северо-Востока. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2014. 346 с.
- Смирнов А. М., Дорожкин В. И., Рубченков П. Н. Актуальные вопросы ветеринарно-санитарных мероприятий на территориях, загрязненных экотоксикантами // Рос. журн. проблем ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2010. № 2 (4). С. 7–13.
- Соловкина Л. Н. Рыбные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Изд-во, 1975. 168 с.
- Филатов Н. Н., Калинкина Н. М., Литвиненко А. В., Лозовик П. А., Теканова Е. В. Состояние и изменения экосистем крупнейших озер-водохранилищ европейской части России // Общество. Среда. Развитие. 2016. № 3 (40). С. 109–114.
- Штамм Е. В., Скурлатов Ю. И., Швыдкий В. О. Природа токсического воздействия сточных вод предприятий целлюлозно-бумажного производства на водные экосистемы // Хим. физика. 2015. Т. 34, № 6. С. 22–29.
- Штамм Е. В., Скурлатов Ю. И., Эрнестова Л. С., Байкова И. С., Дюбанов М. В. Химическая безопасность водных экосистем: биологические методы контроля // Хим. физика. 2017. Т. 36, № 8. С. 14–22.
- Якубовски М. Методы выявления и окраски системы каналов в боковой линии и костных образований у рыб *in toto* // Зоол. журн. 1970. Т. 49, № 9. С. 1398–1402.
- Allenbach D. M. Fluctuating asymmetry and exogenous stress in fishes: a review // Rev. Fish Biol. and Fisheries. 2011. Vol. 21. P. 355–376. <https://doi.org/10.1007/s11160-010-9178-2>
- Bengtsson B.-E. Effects of Pulp Mill Effluents on Skeletal Parameters in Fish // Water Sci. Technol. 1988. Vol. 20. P. 87–94. <https://doi.org/10.2166>
- Bickham J. W., Sandhu S., Heber P. D. N., Chikhi L., Athwal R. Effects of chemical contaminants on genetic diversity in natural populations, implications for biomonitoring and ecotoxicology // Mutation Research. 2000. Vol. 463. P. 33–51.
- Colodey A. G., Wells P. G. Effects of pulp and paper mill effluents on estuarine and marine ecosystems in Canada: a review // J. Aquat. Ecosyst. Health. 1992. Vol. 1. P. 201–226. <https://doi.org/10.1007/BF00044716>
- Freedman J. A., Curry R. A., Munkittrick K. R. Stable isotope analysis reveals anthropogenic effects on fish assemblages in a temperate reservoir // River Res. and Applicat. 2012. Vol. 28. P. 1804–1819. <https://doi.org/10.1002/rra.1576>
- Greenfield D. I., Bart H. L. Jr. Long-term fish community dynamics from a blackwater stream receiving kraft mill effluent between 1973 and 1988 // Hydrobiologia. 2005. Vol. 534. P. 81–90.
- Hall T. J., Fisher R. P., Rodgers J. H. Jr, Minshall G. W., Landis W. G., Kovacs T., Firth B. K., Dubé M. G., Flinders C. A., Deardorff T. 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 Environmental Assessment Management*. 2009. Vol. 5. P. 283–290. doi: 10.1897/IEAM_2008-058.1
- Hammer Ø., Harper D., Ryan P. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontol. Electron*. 2001. Vol. 4. P. 1–9.
- Hilty J., Merenlender A. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health // *Biol. Conservat.* 2000. Vol. 92, Issue 2. P. 185–197. [https://doi.org/10.1016/S_0006-3207\(99\)00052-X](https://doi.org/10.1016/S_0006-3207(99)00052-X)
- Janssens de Bisthoven L. Biomonitoring with morphological deformities in aquatic organisms // *Biomonitoring of Polluted Water*. 1999. Environmental Research Forum 9. P. 65–94.
- Leung B., Forbes N. R., Houle D. Fluctuating asymmetry as a bioindicator of stress: comparing efficacy of analyses involving multiple traits // *The American Naturalist*. 2000. Vol. 155, N 1. P. 101–115.
- Lindesjö E., Thulin J., Bengtsson B.-E., Tjärnlund U. Abnormalities of a gill cover bone, the operculum, in perch *Perca fluviatilis* from a pulp mill effluent area // *Aquat. Toxicol.* 1994. Vol. 28. P. 189–207. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(94\)90033-7](https://doi.org/10.1016/0166-445X(94)90033-7)
- Lindholm-Lehto P. C., Knuutinen J. S., Ahkola H. S. J., Herve S. H. Refractory organic pollutants and toxicity in pulp and paper mill wastewaters // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2015. Vol. 22. P. 6473–6499. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4163-x>
- Malmqvist Ä., Ternström A., Welander T. In-mill biological treatment for paper mill closure // *Water Sci. and Technol.* 1999. Vol. 40, Issues 11–12. P. 43–50. [https://doi.org/10.1016/S_0273-1223\(99\)00699-X](https://doi.org/10.1016/S_0273-1223(99)00699-X)
- Mandeep D., Gupta G. K., Liu H., Shukla P. Pulp and paper industry-based pollutants, their health hazards and environmental risks // *Cur. Opinion in Environ. Sci. & Health*. 2019. Vol. 12. P. 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.09.010>
- Markert B., Breure T., Zechmeister H. Bioindicators and biomonitors – principles, concepts and applications. Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 1014.
- Neuman E., Karas P. Effects of pulp mill effluent on a Baltic coastal fish community // *Water Sci. and Technol.* 1988. Vol. 20. P. 95–106. <https://doi.org/10.2166/wst.1988.0050>
- Oakes K. D., Hewitt L. M., Mc Master M. E., Wood C., Munkittrick K. R., van der Kraak G. J. Oxidative Stress and Sex Steroid Levels in Fish Following Short-Term Exposure to Pulp-Mill Effluents // *J. Toxicol. and Environ. Health*. 2005. Vol. 68. P. 267–286.
- Palmer A. R. Fluctuating asymmetry analyses: a primer // *Developmental Instability: Its Origins and Evolution. Implicat.* 1994. P. 335–364.
- Palmer A. R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry analyses revisited // *Developmental Instability: Causes and Consequences*. 2003. P. 279–319.
- Parsons P. A. Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress // *Heredity*. 1992. Vol. 68. P. 361–364.
- Theodorakis C. W., Lee K. L., Adams S. M., Law C. B. Evidence of altered gene flow, mutation rate, and genetic diversity in redbreast sunfish from a pulp-mill-contaminated river // *Environ. Sci. and Technol.* 2006. Vol. 40. P. 77–86. doi: 10.1021/es052095g. PMID: 16433375
- van Valen L. A study of fluctuating asymmetry // *Evolution*. 1962. Vol. 16. P. 125–142.

The fish part of community of the Vycheгда River in the areas of treated wastewater influence of the pulp industry

R. R. RAFIKOV

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

The paper is presented the results of a study of the species diversity and developmental stability of individuals of common fish species from the Vycheгда River in the area of treated wastewater discharge of one of the largest pulp and paper mill in the European northeast of Russia. It was shown that for the period from 2018 to 2020, perch, roach, and bleak predominate in the catches of a set of nets with a mesh size of 10 to 60 mm in the littoral zone of the monitoring sites. These species are widespread representatives of the ichthyofauna in the basin of the studied river. The catches included non-native species such as white-eye bream, asp and pike-perch. They recent appearance of which became possible due to the construction of canals connecting the Northern Dvina River basin with other river systems. Indices of species diversity (the number of species, their relative abundance and the Shannon index) in monitoring sites from the region of the studied of pulp and paper production is similar. The integral index of individual development assessing, based on the fluctuating asymmetry indicator, indicates the absence of a negative effect on the formation of bilateral morphological structures in early ontogenesis in fish that lived as in the impact as in the conditionally background sits. It was recommended to conduct an additional study to identify physiological disorders in the body of fish or the accumulation of heavy metals or other pollutants in their tissues and organs to clarify the obtained results.

Key words: European northeast of Russia, PPM, waste water, fish population, species diversity, fluctuating asymmetry..