

УДК 574.64:574.55(470.12)

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОЕМОВ Г. ЧЕРЕПОВЦА ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Петров Е.Л., Непорожня И.А., Калинина Д.Н.

ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет», Череповец, e-mail: zenia20ii@mail.ru

Ежегодно огромное количество сточных вод сбрасывается в водоемы, загрязняя реки и озера, влияя на все процессы, происходящие в водоемах и приводящие к антропогенному эвтрофированию водоемов. В работе проведен анализ результатов исследований по содержанию растительных пигментов и тяжелых металлов в донных отложениях рек г. Череповца (Шексны, Ягорбы и Серовки). Наибольшее содержание пигментов отмечено для реки Серовки. Содержание каротиноидов в донных отложениях рек значительно превышает содержание хлорофилла и феофитина во всех реках. Из исследуемых рек, река Серовка является наиболее продуктивной по сравнению с реками Шексной и Ягорбой, но во всех этих реках преобладают деструкционные процессы. Выявлено превышение содержания меди в реке Ягорбе, цинка во всех трех реках.

**Ключевые слова:** хлорофилл, феофитин, каротиноиды, пигментные индексы, донные отложения, тяжелые металлы, загрязнения, реки

## ENVIRONMENTAL STATE OF RESERVOIR'S BOTTOM SEDIMENTS ASSESSMENT IN CHEREPOSETS, VOLOGDA REGION

Petrov E.L., Neporozhnyaya I.A., Kalinina D.N.

Cherepovets state university, Cherepovets, e-mail: zenia20ii@mail.ru

Huge amount of sewage dumps in reservoirs every year polluting rivers and lakes influencing all processes which take place in reservoirs and lead to anthropogenic eutrophication. Analysis of research results on the presence of plant pigments and heavy metals is given in our article for rivers in Cherepovets (Sheksna, Yagorba, Serovka). The highest presence of pigments detected in river Serovka. Amount of caratenoids in bottom sediments is much higher than amount of chlorophyll and pheophytin in all 3 rivers. Serovka is the most productive river comparing to Sheksna and Yagorba, but in all of them prevail destructive processes. Excess of copper in Yagorba and excess of zinc in all 3 rivers is detected.

**Keywords:** chlorophyll, pheophytin, caratenoids, pigment indices, bottom sediments, heavy metals, pollution, rivers

Реки, протекающие в черте городов с развитой промышленностью, испытывают значительную техногенную нагрузку. Основной причиной загрязнения городских водных объектов на урбанизированных территориях является сброс неочищенных или недостаточно очищенных производственных и хозяйственно-бытовых стоков. Качественный состав донных отложений является важнейшим фактором состояния окружающей среды, поскольку определяет величину депонирования загрязняющих веществ, масштабы и скорость их поступления в водные массы и биоту.

Для оценки состояния донных отложений рек наиболее перспективным в настоящее время является изучение растительных пигментов. Это позволяет с достаточной надежностью оценивать степень загрязнения рек, в том числе, ее различных участков, дает высокую воспроизводимость результатов, не требует видового определения представителей фитоценоза [15].

Также актуальной экологической проблемой является прогрессирующее загрязнение водных объектов тяжелыми металлами, так как тяжелые металлы, постоянно поступающие в результате антропогенных

процессов в водную среду, обладают высокой биодоступностью и общей токсичностью для живых организмов.

Целью исследования являлось изучение содержания пигментов и тяжелых металлов (Pb, Fe, Cu, Mn, Cd, Hg, Zn) в донных отложениях рек города Череповца: Шексне, Ягорбе, Серовке.

Череповец – крупнейший промышленный город Вологодской области, административный центр Череповецкого района. Он располагается на реке Шексне, левом притоке Волги, в устье реки Ягорбы. В черте города и его ближних окрестностях протекают реки Шексна, Ягорба, Серовка, Нелазы, Торовка, Кошта [3]. Основу экономического потенциала Череповца составляют предприятия черной металлургии и химического комплекса. Ведущими предприятиями города являются ПАО «Северсталь», ОАО «Северсталь-метиз», АО «ФосАгро – Череповец». Помимо этого, в городе действуют предприятия дерево- и металлообработки, пищевой промышленности и строительного комплекса. Очистные сооружения города не обеспечивают нормативную очистку сточных вод от вредных веществ [1]. Загрязненность водных объектов или их частей

в городе Череповце превышает предельно допустимые концентрации по нефтепродуктам в 6–20 раз, по некоторым металлам в 4 – 16 раз, по азотным соединениям – до 20 и более раз. Концентрация промышленного производства и масштабы его деятельности во многих случаях сопровождаются поступлением в окружающую среду такого количества загрязнителей, которое не может быть нейтрализовано природными факторами, приводящее к нарушениям существующих в природе циклов обмена веществ и энергии [2].

Значение удельного комбинаторного индекса загрязненности воды в 2014 – 2015г.г. по реке Шексне составил 4А (грязная), по реке Ягорбе составил 4А (грязная), вода в реке Серовке соответствует категории «предельно грязная» [14].

**Материалы и методы исследования.** Отбор проб производился с июля 2015 года по декабрь 2016 года на территории города Череповца в реках Шексне, Ягорбе и Серовке дночерпателем ГР91 из верхнего слоя донных отложений на мелководных участках, 2 метра от уреза воды 1 раз в месяц (рис. 1).

Растительные пигменты в донных отложениях определялись спектрофотометрическим методом на Спектрофотометре ПЭ–5400уф, расчеты проводили по общепринятым для фитопланктона уравнениям Лоренца с некоторыми модификациями [11]. Анализ проб на тяжелые металлы проводился на атомно-абсорбционном спектрометре «МГА-915МД» с предварительной пробоподготовкой на минотавре [9, 10]. Содержание ртути определяли на ртутном анализаторе РА с приставкой ПИРО 915+.

**Результаты исследования.** Анализ растительных пигментов в донных отложениях.

Донные отложения исследованных рек существенно отличались по содержанию фотосинтетических пигментов (табл. 1).

Наибольшее содержание пигментов за исследуемый период отмечено для реки Серовки, так как поступление органического вещества фитопланктона в донные отложения зависит от скорости течения, так в реке Серовке с низкой скоростью течения содержание хлорофилла в донных осадках выше, чем в реках Ягорбе и Шексне, где скорость течения выше (рис. 2).



Рис. 1. Карта-схема района исследования – точки отбора проб из рек г. Череповца: 1 – река Шексна; 2 – река Ягорба; 3 – река Серовка

Таблица 1

Физико-химические характеристики грунтов и содержание растительных пигментов рек Серовки, Ягорба, Шексны

№	Показатели	р. Серовка	р. Ягорба	р. Шексна
	Хл, мкг/г	$\frac{0.83 - 29.5}{8.1 \pm 2.9}$	$\frac{0.3 - 20.9}{4.3 \pm 2.1}$	$\frac{0.21 - 5.5}{1.9 \pm 0.67}$
	Ф, мкг/г	$\frac{0.78 - 34.4}{9.7 \pm 3.4}$	$\frac{0.1 - 31.8}{8.6 \pm 3.6}$	$\frac{0.29 - 7.2}{3.1 \pm 0.82}$
	Хл + Ф, мкг/г	$\frac{1.5 - 56.7}{17.8 \pm 3.1}$	$\frac{3.6 - 25.4}{12.9 \pm 2.9}$	$\frac{0.6 - 5.5}{5.0 \pm 0.55}$
	Каротиноиды, мкг/г	$\frac{8.7 - 48.4}{21.9 \pm 4.7}$	$\frac{1.5 - 46.6}{17.1 \pm 5.4}$	$\frac{1.5 - 9.3}{5.4 \pm 1.5}$
	Ф, %	$\frac{23.1 - 92.4}{59.3 \pm 4.6}$	$\frac{7.6 - 98.4}{55.8 \pm 5.9}$	$\frac{10.7 - 91.1}{64.9 \pm 5.5}$
	$E_{480} / E_{665}$	$\frac{0.1 - 9.3}{3.1 \pm 0.4}$	$\frac{1.1 - 6.3}{2.6 \pm 0.2}$	$\frac{0.9 - 5.2}{2.6 \pm 0.3}$
	Хл/Фео	0.59	0.49	0.55

Примечание. В числителе – минимальная – максимальная величины, в знаменателе – средняя величина ± ошибка.

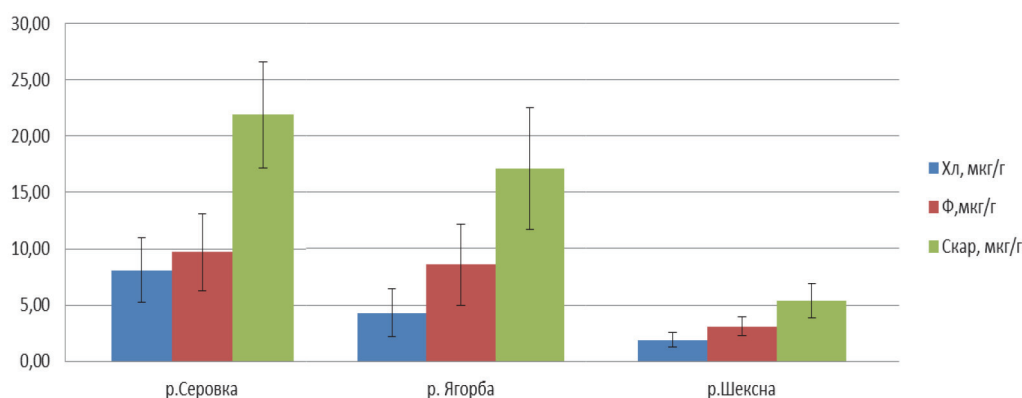


Рис. 2. Среднее содержание пигментов в донных отложениях рек г. Череповца (с июля 2015 г. – по декабрь 2016 г.)

Основной причиной данного факта является антропогенное воздействие – поступление биогенных элементов за счет сточных вод промышленных предприятий и дачных участков, расположенных на берегу реки. Это повышает содержание в воде биогенных элементов, в совокупности со слабым гидродинамическим режимом р. Серовки (течение практически отсутствует) влияет на заиление водоема. Незначительные содержания пигментов в реке Шексне, по сравнению с другими реками, связано с сильным гидродинамическим режимом реки – интенсивное вдольбереговое и ветровое перемещение водных масс способствуют вымыванию органического

вещества из отложений. Содержание каротиноидов в донных отложениях рек значительно превышает содержание хлорофилла и феофитина, так как скорость деструкции у растительных пигментов различна: темпы распада хлорофилла выше, чем у каротиноидов. Увеличение их концентрации стало следствием стратификации, приводящим к уменьшению кислорода у дна и изменениям в деструкционных процессах.

По результатам анализа содержания растительных пигментов реки можно расположить в следующем порядке: р. Серовка > р. Ягорба > р. Шексна.

Соотношение растительных пигментов в водной толще и донных отложениях отра-

жает итог синтеза и деструкции новообразованного органического вещества, и, прежде всего, итог работы фотосинтетического аппарата водорослей и трансформации их пигментов [13]. Одним из наиболее информативных показателей состояния водных экосистем является соотношение концентраций желтых и зеленых пигментов – пигментные индексы (табл. 1).

Индекс  $E_{480} / E_{665}$  характеризует соотношение общих каротиноидов и хлорофилла а, повышение индекса свидетельствует об ухудшении «физиологического» состояния фитопланктона и увеличении его пигментного разнообразия [5]. В донных отложениях водоемов этот индекс отражает степень трансформации органического вещества [8]. Анализ данных выявил, что величины индекса превышают величины для функционирующего фитопланктона, что связано с преимущественной деградацией и обесцвечиванием хлорофилла, накоплением трансформированного органического вещества.

Соотношение пигментов хлорофилла к феофитину (Хл/Ф) (табл.1) меньше единицы указывает на отмирание и разложение водорослей, полученные показатели физиологического состояния определяют экологическое состояние фитопланктона как измененное, функционально нарушенное [12].

Из исследуемых водоемов в реках Ягорбе и Шексне отмечаются меньшие значения соотношения феофитинов к хлорофиллу, что служит индикатором более благополучного физиологического состояния водорослей, по сравнению с рекой Серовкой.

На территории Вологодской области одним из наиболее крупных водных объектов является Рыбинское водохранилище. В ходе исследования был произведен анализ содержания растительных пигментов в донных отложениях рек города Череповца и участка Рыбинского водохранилища, Шекснинского плеса [11], результаты которого представлены в табл. 2.

При помощи сравнительного анализа полученных учеными данных по содержанию растительных пигментов, было выявлено, что среднее содержание концентрации хлорофилла, феофитина и каротиноидов для всех проб в исследуемых реках ниже, чем в Рыбинском водохранилище, несмотря на то, что воды рек впадают в него. Пигментный фонд донных отложений рек Шексны, Ягорбы и Серовки сильно деградирован, среднее содержание феопигментов в их сумме с хлорофиллом составляет от 60 до 98%. Причиной этому служит тот факт, что в регионе Верхней Волги одними из наиболее загрязненных водных объектов являются малые реки, протекающие в пределах крупных промышленных городов [7]. В их число входят водотоки в черте крупного промышленного центра г. Череповец. Эти реки испытывают многолетнее воздействие коммунальных и промышленных сточных вод, вследствие чего в избыточном количестве в воду этих рек поступают разнообразные органические соединения, что негативно влияет на структуру и функционирование планктонных и бентосных сообществ [6].

**Анализ донных отложений на содержание тяжелых металлов.** Определено содержание тяжелых металлов (железо, медь, свинец, цинк, кадмий, ртуть) донных отложениях рек Шексне, Ягорбе, Серовке за 2015 г. Для экотоксикологической оценки почв использовали предельно допустимые концентрации (ПДК) валовых форм для Cu – 55 мг/кг; Zn – 100 мг/кг; Mn – 1500 мг/кг; Cd – 3 мг/кг; Hg – 2.1 мг/кг; Pb – 32 мг/кг [4]. Для Fe – значение кларка (25000 мг/кг). Полученные результаты представлены в табл. 3.

Средняя концентрация металлов в донных отложениях, и максимальное ее значение в большинстве проб не превышает ПДК во всех трех водоемах. Выявлено превышение содержания меди в реке Ягорбе, цинка во всех трех реках.

**Таблица 2**

Концентрация растительных пигментов в донных отложениях Шекснинского плеса Рыбинского водохранилища и рек г. Череповца (Шексны, Ягорбы, Серовки)

№	Водный объект	Показатель		
		Хл+Ф, мкг/г	Ф, %	E480/ E 665
1	Рыбинское водохранилище (Шекснинский плес)	73±20	80±3	2,7±0,3
2	Река Серовка	17,8±3,1	59,3±4,6	3,1±0,4
3	Река Ягорба	12,9±2,9	55,8±5,9	2,6±0,2
4	Река Шексна	5±0,55	64,9±5,5	2,6±0,3

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях рек Серовки, Ягорбы, Шексны за 2015 г.

мг/кг	Серовка	Ягорба	Шексна	ПДК <sub>вал</sub> , мг/кг
Fe	<u>1368.06–15078.93</u> 10232.75	<u>7.57–14232.94</u> 6503.95	<u>87.13–14999.38</u> 3178.69	25000
Cu	<u>4.22–11.42</u> 8.55	<u>0.98–195.51</u> 57.30	<u>0.84–3.23</u> 1.80	55
Pb	<u>0.58–13.17</u> 7.03	<u>2.08–65.98</u> 20.72	<u>0.45–2.14</u> 1.33	32
Cd	<u>0.057–0.14</u> 0.085	<u>0.0065–0.27</u> 0.093	<u>0.0072–0.013</u> 0.0093	3
Mn	<u>39.42–366.07</u> 159.30	<u>64.34–934.65</u> 633.91	<u>29.24–154.98</u> 77.29	1500
Zn	<u>77.96–203.96</u> 140.81	<u>35.74–190.97</u> 127.58	<u>22.45–118.38</u> 70.41	100
Hg	<u>0.025–0.13</u> 0.07	<u>0.0031–0.13</u> 0.055	<u>0.0033–0.026</u> 0.0088	2.1

Примечание. Над чертой максимальное и минимальное содержание металлов, под чертой среднее.

### Заклучение

В донных отложениях прибрежной зоны рек Серовки, Ягорбы и Шексны отмечено повышенное валовое содержание Zn. Массовые концентрации Pb, Fe, Cu, Mn, Cd, Hg соответствуют требованиям санитарно-гигиенических нормативов для почв, наиболее вероятное токсичное воздействие на биоту водоема связано цинком.

Все исследуемые реки различаются по количеству растительных пигментов в донных отложениях, несмотря на принадлежность к единой экосистеме волжского каскада и последовательно расположены относительно друг друга. Главными факторами различий являются абиотические, связанные, прежде всего с различиями гидродинамического режима: более интенсивный в реке Шексне по сравнению с реками Серовкой и Ягорбой. Из исследуемых рек, река Серовка является наиболее продуктивной по сравнению с реками Шексной и Ягорбой, но во всех этих реках преобладают деструкционные процессы, что определяет экологическое состояние водоемов как измененное, функционально нарушенное.

### Список литературы

1. Болотова Н.Л. Взаимодействие общества и природы: опыт эксплуатации водных экосистем Вологодской области // Экологический опыт человечества. – 1995. – №1. – С. 56–58.
2. Болотова Н.Л., Зуянова О.В. Исследование водоемов Вологодской области и аспекты их мониторинга // Северо-Запад России: проблемы экологии и устойчивого развития. – 1997. – №4. – С. 166–177.
3. Воробьев Г.А. Природа Вологодской области. – Вологда: Издательский дом Вологжанин, 2007. – 440 с.

4. ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 3 с.

5. Карнаухова Г.А. Микроэлементы донных отложений Братского водохранилища // География и природные ресурсы. – 1988. – №2. – С. 178–183.

6. Копылов А.И. Структурно-функциональные характеристики бактерио-планктона рек, протекающих через большой город (г.Череповец, Верхняя Волга) // Поволжский экологический журнал. – 2015. – № 2. – С. 183–192.

7. Копылов А.И. Экологические проблемы Верхней Волги. – Ярославль: ЯГТУ, 2001. – 427 с.

8. Лазарева В.И. Состояние экосистемы озера Неро в начале XXI века. – М.: Наука, 2008. – 405 с.

9. ПНД Ф 16.1:2:2:2.363–09 (М 03–07–2014) Методика измерения массовой доли ванадия, кадмия, кобальта, марганца, меди, мышьяка, никеля, ртути, свинца, хрома, и цинка в пробах почв, грунтов, донных отложений, осадков сточных вод атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией а использованием атомно-абсорбционных спектрометров модификаций МГА-915, МГА-915МГ, МГА-915МД. Москва, 2014 – 42 с.

10. ПУ 12–2009. Методические указания по проведению разрушения органических веществ в пробах природных, питьевых, сточных вод, почв, донных отложений, пищевых продуктов с использованием микроволновой системы «Минотавр-2». Санкт-Петербург, 2009 – 20 с.

11. Сигарева Л.Е. Хлорофилл в донных отложениях Волжских водоемов / Л.Е. Сигарева. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 217 с.

12. Тарновский А.А. Геохимия донных отложений современных озер – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. – 172 с.

13. Жизнь растений. Том 3. Водоросли. Лишайники. / Под ред. проф. М. М. Голлербаха. М.: «Просвещение», 1977. – [Электронный ресурс] // BookReader URL: <http://bookre.org/reader?file=546133> (дата обращения 10.04.2017)

14. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Вологодской области в 2015 году [Электронный ресурс] // Официальный портал Правительства Вологодской области URL: [http://vologda-oblast.ru/vlast/ispolnitelnaya\\_vlast/department\\_prirodnykh\\_resursov\\_i\\_okhrany\\_okruzhayushchey\\_sredy\\_vologodskoy\\_oblasti/otchet](http://vologda-oblast.ru/vlast/ispolnitelnaya_vlast/department_prirodnykh_resursov_i_okhrany_okruzhayushchey_sredy_vologodskoy_oblasti/otchet) (дата обращения 09.04.2017).

15. Wedewardt M. New Studies of Guanting Reservoir sediment deposits and sorption experiments for a dredging strategy [Электрон. ресурс] // Wedewardt. – URL: <http://www1.wasy.de/WE-BB/final/ws3.pdf> (дата обращения: 12.04. 2017).