

ИРИНА МИХАЙЛОВНА ДЗЮБУК

кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*ikrup@petrsu.ru*

НАТАЛЬЯ АНАТОЛЬЕВНА ОРЕХОВА

сотрудник лаборатории экологических проблем Севера эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*ona-mart@yandex.ru*

ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА КЛЮКИНА

кандидат технических наук, доцент кафедры теории вероятностей и анализа данных факультета математики и информационных технологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*elena\_k\_79@mail.ru*

## ОЦЕНКА ДИНАМИКИ КАЧЕСТВА ВОД РЕКИ НЕГЛИНКИ (КАРЕЛИЯ) С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОНЕНТНОГО АНАЛИЗА

Статья затрагивает проблему загрязнения вод малых рек. Представлены материалы по динамике качества вод реки Неглинки, протекающей через территорию города Петрозаводска (Республика Карелия). Приведены результаты анализа вод реки Неглинки по десяти гидрохимическим показателям в 2013 и 2014 годах с учетом сезона года и станции отбора проб. Доказано, что при транзите через городскую территорию качество вод реки ухудшается: из десяти исследуемых показателей пять превышали значения ПДК рыбохозяйственных. Статистическая обработка полученных результатов проведена с помощью компонентного анализа, который позволил выявить определенные взаимозависимости гидрохимических показателей, а также группы сходных объектов (объект – станция, год). Указывается на необходимость продолжения мониторинговых наблюдений за качеством вод реки Неглинки.

Ключевые слова: река Неглинка, гидрохимические показатели, компонентный анализ, главные компоненты, факторные нагрузки

Водные ресурсы имеют важное значение в обеспечении устойчивого социально-экономического развития страны. С началом интенсивной урбанизации северных территорий обострились проблемы загрязнения вод малых рек как наиболее уязвимого элемента речных систем [3]. Именно они определяют особенности физико-химического состава воды, состояние биоценозов, гидролого-гидрохимический и гидробиологический режимы, качество воды в средних, крупных реках и водоемах-приемниках [4]. В настоящее время наряду с загрязнением актуальной является проблема деградации малых рек в результате интенсивного развития городской территории. Для обустройства, возрождения и охраны малых рек урбанизированных территорий большое значение имеет организация постоянного мониторинга, оценка состояния и динамики качества вод с применением современных методов математической статистики.

Река Неглинка – малая река, протекающая по территории города Петрозаводска (Республика Карелия). Химический состав вод реки транс-

формируется при прохождении по городской территории, а это объективный показатель их загрязнения. Вследствие того что река является притоком Петрозаводской губы Онежского озера, она влияет на качество вод литоральной зоны губы, так как выносит большое количество биогенных элементов [2], [6], [8].

Целью исследования было определение качества вод реки Неглинки при транзите их через городскую территорию по гидрохимическим параметрам и оценка изменений с применением методов математической статистики.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлась река Неглинка, которая вытекает из ламбушки в 12 км к юго-западу от города Петрозаводска и впадает в Петрозаводскую губу Онежского озера. Длина реки 14 км, средний уклон 10,3, ширина 30–35 м, высота склонов до 8 м [3], [7]. Средний годовой сток равен 0,51 м<sup>3</sup>/с, наименьший и наибольший – 0,24 м<sup>3</sup>/с и 1,03 м<sup>3</sup>/с соответственно. Река служит приемником поверхностных и ливневых стоков.

Поверхностный сток приносит в реку большое количество нефтепродуктов, мусора и других веществ на всем ее протяжении.

Пробы для гидрохимического анализа отбирались в течение 2013 и 2014 годов в весенний, летний и осенний периоды на трех постоянных станциях: 1-я станция (фон) – верховье реки, 2-я станция – центр города Петрозаводска, 3-я станция – устье реки. Исследовались следующие гидрохимические показатели: pH, цветность, биологическое потребление кислорода за пять суток (БПК<sub>5</sub>), кислород растворенный, перманганатная окисляемость (ПО), азот (аммоний-ион – NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, нитрит-ион – NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, нитрат-ион – NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), фосфор (общий – Робщ., фосфаты – Рмин.). Анализ проб воды осуществлялся по стандартным методикам, принятым в гидрохимической практике [1]. Всего было проведено 180 анализов. Полученные результаты сравнивали с предельно допустимыми концентрациями для рыбохозяйственных водемов (ПДКр/x). При статистической обработке полученных результатов исследования использовался компонентный анализ [5]. Графические построения и статистическая обработка данных проведены с помощью статистических пакетов Excel и StatGraphicsCenturionXV.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований выявлено, что значения таких гидрохимических

показателей вод реки Неглинки, как pH, растворенный в воде кислород, количество NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Робщ. и Рмин., входили в диапазон ПДКр/x. Однако цветность, БПК<sub>5</sub>, ПО, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и NO<sub>2</sub><sup>-</sup> превышали значения ПДКр/x в среднем в 2 раза. Превышение ПДКр/x по биогенным элементам указывает на негативное влияние речного стока на прибрежные воды Петрозаводской губы Онежского озера, откуда осуществляется водозабор на хозяйствственно-питьевые нужды города Петрозаводска (табл. 1).

Было установлено, что при транзите вод реки Неглинки через городскую территорию от истока к устью pH среды сдвигалось в щелочную сторону, увеличивалось количество NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> и растворенного в воде кислорода, при этом уменьшались значения цветности и ПО. В центральной части реки воды характеризуются максимальными значениями БПК<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Робщ. и Рмин. Это связано с разбавлением природных вод реки Неглинки стоками с городской территорией.

Высокие значения цветности в устье реки обусловлены ее болотным питанием, а также повышенным количеством лигнина, который поступил в воду с дождевым стоком в результате рубки ельника чернично-зеленомошного под площадки для двух жилых комплексов. Далее по течению реки было отмечено уменьшение значений этого показателя, что связано с разбавле-

Таблица 1  
Значения гидрохимических показателей вод реки Неглинки за 2013–2014 годы

Год	Сезон	Станция отбора проб	Показатели									
			pH	Цветность, град.	Растворенный O <sub>2</sub> , мгO <sub>2</sub> /л	БПК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /л	ПО, мгO/л	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мгN/л	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мгN/л	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мгN/л	Рмин., мгP/л	Робщ., мгP/л
2013	Весна	1	6,60	<b>356</b>	6,04	1,53	<b>40,55</b>	0,36	0,002	0,07	0,011	0,012
		2	6,75	<b>312</b>	6,65	1,15	<b>31,85</b>	0,41	0,006	0,20	0,041	0,082
		3	6,75	<b>276</b>	6,27	1,23	<b>29,55</b>	0,34	0,006	0,42	0,010	0,034
	Лето	1	6,90	<b>468</b>	7,64	<b>5,50</b>	<b>31,60</b>	0,38	<b>0,079</b>	0,05	0,008	0,010
		2	7,31	<b>138</b>	8,29	<b>4,93</b>	15,50	<b>0,56</b>	<b>0,191</b>	0,72	0,008	0,036
		3	7,40	<b>120</b>	7,64	<b>4,00</b>	6,80	0,32	<b>0,097</b>	1,12	0,006	0,034
	Осень	1	7,00	<b>690</b>	9,66	<b>3,02</b>	<b>43,80</b>	0,22	0,007	0,12	0,067	0,088
		2	7,50	<b>216</b>	9,04	<b>4,48</b>	17,10	0,13	<b>0,172</b>	1,11	0,051	0,116
		3	7,60	<b>214</b>	10,44	<b>3,24</b>	16,30	0,11	<b>0,083</b>	1,72	0,043	0,098
2014	Весна	1	6,25	<b>286</b>	10,40	<b>3,43</b>	<b>25,04</b>	<b>2,10</b>	0,016	0,26	0,010	0,019
		2	6,70	<b>250</b>	10,47	<b>5,98</b>	16,68	<b>2,03</b>	<b>0,204</b>	0,59	0,076	0,142
		3	6,95	<b>230</b>	10,68	<b>6,62</b>	13,60	<b>2,00</b>	<b>0,243</b>	0,67	0,085	0,164
	Лето	1	7,20	<b>147</b>	7,13	1,23	<b>31,60</b>	<b>0,85</b>	<b>0,027</b>	0,22	0,037	0,038
		2	7,50	<b>59</b>	<b>5,25</b>	<b>5,19</b>	14,56	<b>1,86</b>	<b>0,092</b>	0,05	0,038	0,134
		3	7,60	<b>21</b>	6,47	1,62	9,16	0,23	<b>0,050</b>	1,10	0,076	0,078
	Осень	1	6,40	<b>310</b>	8,50	0,69	<b>41,28</b>	<b>1,55</b>	<b>0,039</b>	0,07	0,069	0,112
		2	7,15	<b>132</b>	7,01	1,39	17,12	<b>1,56</b>	<b>0,056</b>	1,19	0,070	0,136
		3	7,50	<b>55</b>	9,98	0,58	15,08	0,34	<b>0,069</b>	2,86	0,060	0,133

нием природных вод реки городскими сточными водами. Превышение значений ПДК<sub>р/х</sub> по БПК<sub>5</sub> обусловлено интенсивным биохимическим окислением органических веществ из сточных вод. На большое количество органических веществ в водах реки также указывают превышения по значениям ПО. Количество органических веществ ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) превышало ПДК<sub>р/х</sub> в связи с поступлением в природные воды реки азотсодержащих веществ, которые присутствуют в бытовых, строительных и промышленных стоках. Максимальные значения БПК<sub>5</sub>, ПО и  $\text{NH}_4^+$  в центральной части реки, возможно, связаны с несанкционированным сбросом сточных вод с прилегающей территории.

Полученные в ходе гидрохимических исследований результаты были подвергнуты компонентному анализу для выявления основных направлений изменчивости и групп сходных объектов. В результате были получены четыре значимые главные компоненты (ГК), описывающие 85,1 % изменчивости признаков (табл. 2).

**Таблица 2**  
Дисперсии главных компонент

Номер ГК	Значение дисперсии	Относительный вес, %
1	3,14403	31,4
2	2,22826	22,3
3	1,99521	20
4	1,137	11,4

Факторные нагрузки показали, что взаимные корреляции всех признаков невелики. Первая компонента создается в основном за счет переменной, касающейся увеличения значений цветности и количества Рмин. Вторая компонента создается за счет переменной, касающейся увеличения количества растворенного кислорода и Робщ. при уменьшении количества  $\text{NO}_3^-$ . Третья компонента касается переменной, показываю-

щей увеличение количества  $\text{NH}_4^+$  при уменьшении  $\text{NO}_2^-$ , а четвертая – увеличение количества  $\text{NO}_3^-$  при уменьшении значений БПК<sub>5</sub> и ПО (табл. 3).

Ординация объектов по ГК-1 и ГК-2 демонстрирует разделение исследуемых объектов (станций отбора проб с учетом сезона и года) на группы. В первую группу (по ГК-1: наибольшие значения цветности, Рмин.; по ГК-2: наибольшие значения растворенного кислорода, Робщ., при наименьшем –  $\text{NO}_3^-$ ) входят следующие объекты: 2 – станция летом, осенью 2013 и 2014 годов, 3 – станция осенью 2013 и 2014 годов, летом 2014 года. Во вторую (по ГК-1: наименьшие значения цветности, Рмин.; по ГК-2: наименьшие значения растворенного кислорода, Робщ. и наибольшие –  $\text{NO}_3^-$ ): 1 – станция весной, осенью 2013 и 2014 годов, летом 2013 года (рис. 1).

Ординация объектов по ГК-1 и ГК-3 демонстрирует разделение объектов на следующие группы: в первую из них (по ГК-1: наибольшие значения цветности, Рмин.; по ГК-3: наибольшие значения  $\text{NH}_4^+$ , наименьшие –  $\text{NO}_2^-$ ) входят: 2 – станция летом 2013 и 2014 годов, осенью 2013 года и весной 2014 года, 3 – станция осенью 2013 года и весной 2014 года; во вторую (по ГК-1: наименьшие значения цветности, Рмин.; по ГК-3: наименьшие значения  $\text{NH}_4^+$ , наибольшие –  $\text{NO}_2^-$ ) входят следующие объекты: 1 – станция летом 2014 года, осенью 2013 года, 2 – станция весной 2013 года (рис. 2).

Выявленные зависимости согласуются с абсолютными значениями гидрохимических показателей. Полученные результаты подтверждаются сравнением средних арифметических величин для каждого исследуемого показателя в зависимости от станции и времени года. Таким образом, основные признаки, которые отражаются в ГК (за 2013–2014 годы), это цветность, количество растворенного в воде кислорода, аммоний-, нитрит- и нитрат-ионов, Робщ. и Рмин.

**Таблица 3**  
Факторные нагрузки по главным компонентам

Показатели	ГК-1	ГК-2	ГК-3	ГК-4
pH	0,389149	-0,141729	-0,352178	-0,0833409
Цветность	0,475941	-0,101828	-0,251013	0,0684229
Растворенный $\text{O}_2$	0,251115	0,538827	0,0906116	0,0246906
БПК <sub>5</sub>	-0,24343	-0,370849	0,068555	-0,56829
ПО	0,317452	-0,216138	0,0509026	-0,601868
$\text{NH}_4^+$	0,25646	-0,210684	0,56606	0,0396184
$\text{NO}_2^-$	0,00282067	-0,199844	-0,574977	0,0333329
$\text{NO}_3^-$	0,200925	-0,473831	-0,0342463	0,469597
Рмин.	0,442451	-0,080428	0,340795	0,0619197
Робщ.	0,31151	0,423857	-0,170661	-0,274825

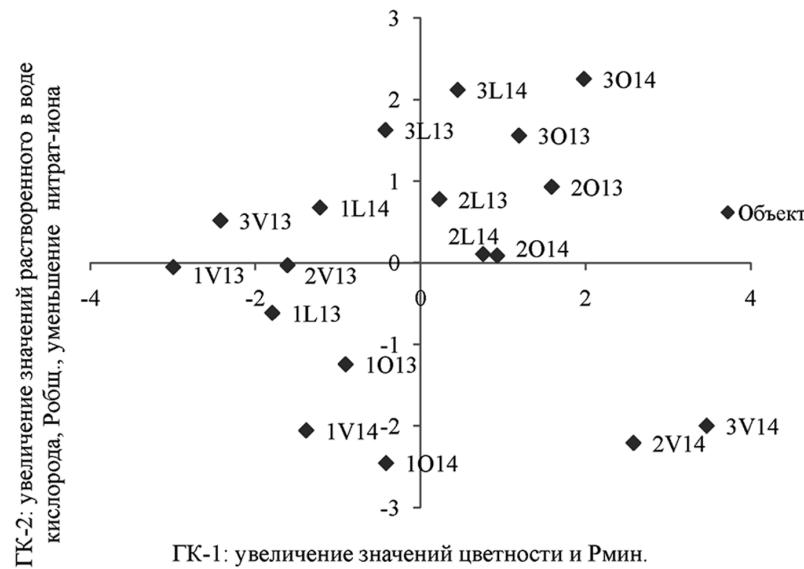


Рис. 1. Ординация объектов по ГК-1 и ГК-2



Рис. 2. Ординация объектов по ГК-1 и ГК-3

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время остается актуальной проблема загрязнения малых рек в пределах городских территорий, которые продолжают испытывать интенсивное антропогенное влияние. В этих условиях исключительную необходимость и важность приобретают мониторинговые исследования, результаты которых могут быть основой для разработки мер по сохранению качества вод городских рек.

Это полностью подтверждают результаты нашего исследования реки Неглинки (Карелия). Так, в ходе исследований было выявлено, что из десяти исследуемых гидрохимических показателей пять превышали значения ПДК<sub>р/х</sub>. При транзите вод реки Неглинки через городскую территорию от истока к устью pH среды сдвигалось в щелочную сторону, увеличивалось

количество нитрат- и нитрит-ионов, растворенного в воде кислорода, при этом уменьшались значения цветности и ПО. В центральной части реки воды характеризовались максимальными значениями БПК<sub>5</sub>, аммоний-иона, Робщ. и Рмин. Это связано с разбавлением природных вод реки Неглинки стоками с городской территорией.

Выявлено, что в истоке реки в 2013 году цветность была больше в 3 раза, а ПО, аммоний- и нитрит-ионы были меньше в 10, 6 и 8 раз соответственно, чем в 2014 году. В устье реки в 2013 году показатели растворенного кислорода и БПК<sub>5</sub> были меньше в 2 и 5 раз соответственно, чем в 2014 году. В сезонном аспекте выявлены закономерные различия в динамике показателей растворенного в воде кислорода, БПК<sub>5</sub>, Рмин., аммоний- и нитрит-ионов.

Проведение компонентного анализа позволило выявить следующие зависимости: увеличение количества Рмин., цветности сопровождается увеличением растворенного в воде кислорода, Робщ. и уменьшением количества нитрат-ионов, а также увеличением количест-

ва аммоний-ионов и уменьшением количества нитрит-ионов; увеличение количества растворенного в воде кислорода, Робщ. и уменьшение количества нитрат-ионов сопровождается увеличением количества аммоний-ионов и нитрит-ионов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А л е к и н О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1970. 444 с.
2. Биомониторинг и разработка мер экологической защиты рек Неглинка, Лососинка, Томица и устьевой части Шуи: Отчет о научно-исследовательской работе. Петрозаводск, 1994. 86 с.
3. Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Опыт карело-финляндского сотрудничества / Ред. Н. Филатов, А. Литвиненко, А. Сяркноя, Р. Порттикви, Т. Регеранд. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. 263 с.
4. Г о л у б ч и к о в С. Малые реки как индикатор природопользования // Энергия: экономика, техника, экология. 2005. № 1. С. 56–60.
5. Ко р о с о в А. В., Го р б а ч В. В. Компьютерная обработка биологических данных: Метод. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 84 с.
6. Поверхностные воды озерно-речной системы Шуи в условиях антропогенного воздействия / Под ред. П. А. Лозовика, В. А. Фрейндлинга. Петрозаводск: Карелия, 1991. 211 с.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Ч. 3. Гидографические описания рек и озер / Под ред. В. Е. Водогрецкого. Л.: Гидрометеоиздат, 1997. 959 с.
8. Экосистема Онежского озера / Под ред. Т. В. Ефремова, Н. В. Альтшуллера, Т. Е. Гершензона и др. Л.: Наука, 1990. 264 с.

Dzyubuk I. M., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Orehova N. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Klyukina E. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

#### COMPONENT ANALYSIS ASSESSMENT OF NEGLINKA RIVER WATER QUALITY DYNAMICS

The article is concerned with the problem of small rivers' pollution. Materials reflecting dynamics of Neglinka water quality are presented. The river flows through the territory of the city of Petrozavodsk (Republic of Karelia). Comprehensive results of the water analysis conducted in 2013 and 2014 are provided. The study of the water quality was based on ten hydrochemical indicators. The obtained results take into consideration both the seasons and locations of the places where the samples were taken from. It was proven that during the transit through the city territory the water quality of the river worsened: five from ten studied indicators exceeded the Mac values. A statistical assessment, based on the principles of component analysis, helped to reveal certain dependences between different hydrochemical indicators. It was concluded that the process of monitoring waters of the river Neglinka should be continued.

Key words: Neglinka River, hydro-chemical indicators, component analysis, principal components, factor loadings

#### REFERENCES

1. А л е к и н О. А. *Osnovy gidrokhimii* [Fundamentals of hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo Publ., 1970. 444 p.
2. *Biomonitoring i razrabotka mer ekologicheskoy zashchity rek Neglinka, Lososinka, Tomitsa i ust'evoy chasti Shui. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote* [Biomonitoring and development of measures of ecological protection of rivers Neglinka, Lososinka, Tomica and the mouth of the Shui]. Petrozavodsk, 1994. 86 p.
3. *Vodnye resursy Respubliki Kareliya i puti ikh ispol'zovaniya dlya pit'evogo vodosnabzheniya. Opyt karelo-finskyanskogo sotrudnichestva* [Water resources of the Republic of Karelia and ways of their use for drinking water. Experience of Karelian-Finnish cooperation]. Ed. N. Filatov, A. Litvinenko, A. Syarknoya, R. Porttikivi, T. Regerand. Petrozavodsk, Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2006. 263 p.
4. Г о л у б ч и к о в С. Small rivers as an indicator of the use of nature [Malye reki kak indikator prirodopol'zovaniya]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. 2005. № 1. P. 56–60.
5. Ко р о с о в А. В., Го р б а ч В. В. *Komp'yuternaya obrabotka biologicheskikh dannyykh: Metod. posobie* [Computer processing of biological data: Methodical manual]. Petrozavodsk, Izd-vo PetrGU, 2010. 84 p.
6. *Poverkhnostnye vody ozerno-rechnoy sistemy Shui v usloviyah antropogenennogo vozdeystviya* [The water surface of the lake-river system of Feng Shui in conditions of anthropogenic impact]. Ed. by P. A. Lozovik, V. A. Freyndling. Petrozavodsk, Kareliya Publ., 1991. 211 p.
7. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 2. Kareliya i Severo-Zapad. Chast' 3. Gidrograficheskie opisaniya rek i ozer* [Surface water resources of the USSR. Karelia and the Northwest. Part 3. Geographical description of the lakes and rivers]. Ed. by V. E. Vodogretskogo. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1997. 959 p.
8. *Ekosistema Onezhskogo ozera* [The ecosystem of Onega Lake] / Ed. by T. V. Efremov, N. V. Al'tshuller, T. E. Gershenson et all. Leningrad, Nauka Publ., 1990. 264 p.