

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ УРБАНИЗИРОВАННОГО ПРИТОКА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПО ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Теканова Е. В., Макарова Е. М., Калинин Н. М.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN THE ONEGO LAKE URBAN TRIBUTARY BY CHEMICAL INDICATORS

Tekanova E. V., Makarova E. M., Kalinkina N. M.

Аннотация

Введение. Река Лососинка — урбанизированный приток Онежского озера, в нижнем течении протекает по территории г. Петрозаводска, принимая неочищенные городские стоки ливневой канализации. Река впадает в Петрозаводскую губу Онежского озера — источник централизованного питьевого водоснабжения города. **Методы.** В период открытой воды 2015 г. в воде фоновых и городского участков р. Лососинки общепринятыми методами измерялись содержание кислорода, $Fe_{\text{общ}}$, цветность, pH, взвешенные вещества, БПК₅, нефтепродукты, бихроматная окисляемость. **Результаты.** В речной воде выявлены высокие величины цветности воды (132 град.), $Fe_{\text{общ}}$ (1,5 мг/л), бихроматной окисляемости (23 мг О/л), что связано с геохимическими особенностями поверхностных вод Карелии, обогащенных гумусовым веществом. Сезонные возрастания концентраций этих веществ были связаны с паводками. Насыщение воды кислородом достигало 90 % из-за быстрого течения и перекатов. К показателям загрязнения воды отнесены $P_{\text{общ}}$ (60 мкг P/л), $P_{\text{мин}}$ (40 мкг P/л), БПК₅ (1,5 мг О₂/л), взвешенные вещества (25,5 мг/л), нефтепродукты (0,02 мг/л). Сезонные изменения этих веществ не были связаны с гидрологическим режимом реки. В стоках ливневой канализации города ПДК_{рх} для БПК₅ превышены в 4 раза, для нефтепродуктов — в 15 раз. Тест Краскела–Уоллеса показал, что все изученные химические показатели в городском и фоновом участках р. Лососинки не имеют значимых различий. **Заключение.** Качество воды р. Лососинки — удовлетворительное по большинству изученных показателей. Содержание $Fe_{\text{общ}}$ характеризует воду как загрязненную, цветность — как грязную. ПДК_{рх} по $Fe_{\text{общ}}$ в фоновом и городском участках реки превышены в 10 раз. Общероссийские стандарты качества воды и ПДК_{рх} для $Fe_{\text{общ}}$ и цветности неприменимы для водных объектов Карелии с высокими фоновыми значениями этих веществ. Речная система соответствует эвтрофному состоянию. Усилению загрязнения воды на территории города препятствует хорошее насыщение воды кислородом, способствующее процессам самоочищения. **Ключевые слова:** река Лососинка, гидрохимические показатели, сезонная динамика, загрязнение воды, ливневые сточные воды, качество воды, предельно допустимые концентрации.

Abstract

Introduction. The Lososinka River is an urban tributary of Lake Onego, the lower reaches of which flow through the territory of Petrozavodsk city, receiving untreated drains of the city's storm sewers. The river enters the Petrozavodsk Bay of Lake Onego, which is used as a source of public drinking water supply in the city. **Methods.** During the 2015 open water period, the oxygen concentration, total iron, color, pH, total suspended matter, biochemical oxygen demand (BOD₅), content of oil products, and dichromate chemical oxygen demand were measured by standard methods in the water of the background and urban areas of the Lososinka River. **Results.** In the river water, high values of water color (132 mg/l Cr-Co), total iron (1.5 mg/l), dichromate chemical oxygen demand (23 mgO/l) were revealed, which is associated with the geochemical peculiarities of the surface waters in Karelia, enriched in the humic matter. Seasonal increases in the concentrations of these indicators were associated with floods. The oxygen saturation of the water reached 90% due to the fast current and riffles. The indicators of water pollution include total phosphorous (60 µg/l), mineral phosphorous (40 µg/l), BOD₅ (1.5 mgO₂/l), suspended matter (25.5 mg/l), and content of oil products (0.02 mg/l). Seasonal changes in these indicators were not associated with the hydrological regime of the river. In the storm sewers of the city, the maximum permissible concentrations for BOD₅ are exceeded by 4 times, and for oil products — by 15 times. The Kruskal–Wallis test showed that all the studied chemical indicators in the urban and background areas of the river do not have significant differences. **Conclusion.** Water quality in the Lososinka River is considered satisfactory in terms of most of the studied parameters. According to the total iron content, the water is characterized as polluted, and according to water color, the river water is classified as dirty. The maximum permissible concentrations for total iron in the background and urban areas of the river were exceeded by 10 times. The standards for water quality adopted in the Russian Federation and the maximum permissible concentrations for total iron and water color are inapplicable for the water bodies in Karelia with high background values of these indicators. The trophic status of the river corresponds to the eutrophic state. Good saturation of the river water with oxygen hinders water pollution in the city territory due to self-purification processes.

Keywords: Lososinka River, hydrochemical indicators, seasonal dynamics, water pollution, storm sewage, water quality, maximum permissible concentrations.

Введение

В России 95 % рек относятся к категории малых [12]. Обогащая крупные реки и озера терригенными веществами, они являются важнейшим источником формирования химического состава и качества воды озер и крупных рек. Последние, как правило, служат объектами многофункционального использования человеком, в том числе в целях, предусматривающих хорошее качество воды (питьевое водоснабжение населения, рыболовство, рекреация).

Река Лососинка — один из немногих притоков Онежского озера, принимающего сток 52 рек, который протекает по урбанизированной территории. В нижнем течении река находится на территории г. Петрозаводска с населением 300 тыс. человек и впадает в Петрозаводскую губу Онежского озера. В целом, воды р. Лососинки являются важным компонентом формирования химического состава воды Петрозаводской губы Онежского озера, которая служит источником централизованного питьевого водоснабжения города. Река имеет также важное рекреационное значение для городского населения, являясь излюбленным местом отдыха горожан, на ее берегах построены детские и спортивные площадки. В реку отводятся городские ливневые стоки, загрязняющие ее тяжелыми металлами, нефтепродуктами, легкоминерализуемым органическим и биогенными веществами [14, 15, 21]. Кроме того, речная вода характеризуется высокими природными показателями цветности, органического вещества (ОВ) гумусного происхождения и общего железа [15]. Эти природные особенности состава поверхностных вод Карелии связаны с геохимией почв и климатическими особенностями региона и в целом, определяют неблагоприятные условия для функционирования водной биоты [17].

Ранее было выявлено негативное действие водной среды р. Лососинки на отдельные компоненты биоты. Показано, что речная вода проявляет токсичные свойства в отношении тест-объекта планктонного ветвистоусого рачка *Ceriodaphnia affinis* Lillijeborg [18], бентосные беспозвоночные находятся в угнетенном состоянии [21], наблюдаются различные заболевания у рыб [11].

Несмотря на имеющуюся информацию о химическом составе воды р. Лососинки [14, 15, 20],

полноценных исследований веществ природного и антропогенного происхождения, которые охватывали бы весь период открытой воды и давали бы возможность дать общую экологическую оценку ее качества, ранее не проводилось.

В связи с этим, целью настоящего исследования было выявить особенности химического состава воды р. Лососинки и дать экологическую оценку ее качества по химическим показателям.

Материал и методы исследований

Река Лососинка является самым крупным притоком юго-западного побережья Онежского озера. Река относится к полугорному типу, характеризуется наличием порогов и перекатов. Длина реки составляет 25 км, глубина русла варьирует от 0,4 до 3 м, скорость течения — 0,3–0,8 м/с, площадь водосборной территории — 318 км², средний объем стока — 0,13 км³/год [2, 6].

Пробы воды отбирали в 2015 г. в период открытой воды с апреля по ноябрь на четырех постоянных станциях (рис. 1). Станция L-1 расположена за пределами городской черты, три других (L-2, L-3, L-4) — на территории г. Петрозаводска. На каждой станции было отобрано восемь проб воды для определения растворенного кислорода, семь — для определения БПК₅, шесть — для определения цветности, бихроматной окисляемости, pH, взвешенных веществ, пять — для определения общего железа, общего и минерального фосфора.

Взвешенные вещества, pH, фосфор общий и минеральный, общее железо, цветность и бихроматную окисляемость воды определяли в лицензированной аналитической лаборатории Института леса Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН» по методикам^{1,2,3,4} [1, 14, 16]. Содержание нефте-

¹ Количественный химический анализ вод (2004). ПНД Ф 14.1:2.106–97. Методика выполнения измерений массовой концентрации фосфора общего в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом после окисления персульфатом. М.: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 23 с.

² Количественный химический анализ вод (2004). ПНД Ф 14.1:2.110–97. Методика выполнения измерений содержаний взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом. М.: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 13 с.

³ Количественный химический анализ вод (2007). ПНД Ф 14.1:2.4.248–07. Методика измерений массовых концентраций ортофосфатов, полифосфатов и фосфора общего в питьевых, природных и сточных водах фотометрическим методом. М.: Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия, 18 с.

⁴ Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (2015). ГОСТ 31861–2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 35 с.

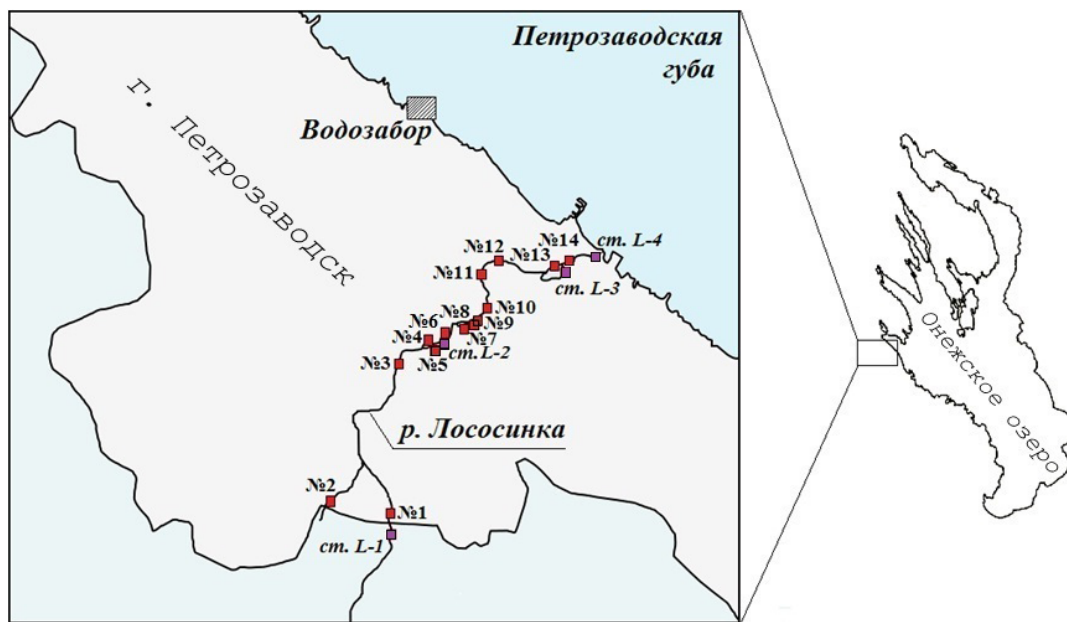


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб (L-1, L-2, L-3, L-4) и ливневых стоков (№ 1–14) на р. Лососинке

продуктов определяли в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии Института водных проблем Севера Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН» по методике⁵, концентрацию растворенного кислорода и БПК₅ — в лаборатории гидробиологии этого же института согласно стандартной методике [16].

Данные по химическому составу 14 стоков ливневой канализации в июле 2015 г. предоставлены отделом экологии мэрии Петрозаводского городского округа. Анализ содержания химических веществ (взвешенные вещества, нефтепродукты, БПК₅) выполнялся в лицензированном Центре лабораторного анализа и технических измерений по Республике Карелия с использованием методик^{6, 7, 8}.

⁵ Руководящий документ (2007). РД 52.24.476–2007. Массовая концентрация нефтепродуктов в водах. Методика выполнения измерений ИК-фотометрическим методом. Ростов н/Дону: Росгидромет, 27 с.

⁶ Количественный химический анализ вод (2004). ПНД Ф 14.1:2.110–97. Методика выполнения измерений содержания взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом. М.: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 13 с.

⁷ Количественный химический анализ вод (2004). ПНД Ф 14.1:2:3:4.123–97. Методика выполнения измерений биохимического потребления кислорода после n-дней инкубации (БПК_{полн}) в поверхностных пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных сточных водах. М.: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 30 с.

⁸ Количественный химический анализ вод (2007). ПНД Ф 14.1:2:4.128–98. Методика выполнения измерений массовой кон-

величины расхода воды в р. Лососинке в период исследований взяты на сайте Федерального агентства водных ресурсов⁹. Статистический анализ данных выполнялся непараметрическими методами в лицензированном пакете Statistica Advanced 10 for Windows Ru.

Результаты и обсуждение

Характеристика антропогенной нагрузки на р. Лососинку

Источниками загрязнения р. Лососинки являются ливневые сточные воды Петрозаводска, представляющие собой открытые водостоки и закрытые самотечные сети канализации (см. рис. 1), а также неучитываемый склоновый сток с городской территории. Весь объем ливневых канализационных вод, формирующийся на территории г. Петрозаводска, сбрасывается в реку без очистки. В 2015 г. в р. Лососинку поступило около 30 млн м³ таких вод, что составляет 25 % от общего объема речного стока.

Концентрации взвешенных веществ, легкоминерализуемого ОВ (БПК₅) и нефтепродуктов в ливневых стоках в июле 2015 г. представлены

⁹ АИС ГМВО. Состояние поверхностных вод. Доступно по ссылке: <http://gmvo.skniivh.ru> [дата обращения: 01.02.2019].

в табл. 1. Сравнение содержания этих веществ в ливневых стоках с ПДК_{рх}¹⁰ показало, что в 12 из 14 стоков превышены нормативы для БПК₅, в 13 стоках — для нефтепродуктов. Наибольшие величины БПК₅, в 10 и 8,5 раз больше допустимых значений, были обнаружены в стоках № 10 и № 14. В стоке № 14 также оказалась наибольшей концентрация нефтепродуктов, почти в 80 раз выше ПДК_{рх}. Количество взвешенных веществ превышало ПДК_{рх} в пяти стоках, при этом наибольшее превышение ПДК_{рх} (в 3,3 раза) также было отмечено для стока № 14 в устье реки (см. рис. 1). В остальных случаях ПДК_{рх} по взвешенным веществам была превышена не более чем в 2 раза.

Химические показатели, характеризующие особенности природного состава воды р. Лососинки

Геохимические особенности Карельского гидрографического региона определяют интенсивное вымывание с заболоченных территорий труднорастворимого органического вещества гумусового происхождения [10, 19]. С гумусовым веществом химически связаны железо и фосфор [3]. Гумусовое органическое вещество, железо и фосфор приносятся в озера и реки с водосборных территорий, определяя повышенные фоновые концентрации этих веществ во многих водных объектах Карелии и способствуя закислению вод [9, 10]. Поэтому в качестве показателей, характеризующих особенности природного химического состава воды р. Лососинки, были использованы цветность, бихроматная окисляемость воды, отражающая общее содержание органического вещества, концентрация общего железа, реакция среды, содержание кислорода в воде. В условиях загрязнения воды легкоминерализуемым органическим веществом концентрация растворенного кислорода может во многом определяться развитием бактериальных процессов самоочищения, однако в реке Лососинке с быстрым течением и множеством перекатов важную роль также играет и хороший газообмен с воздухом. Это подтверждается данными о высоком насыщении воды кислородом (табл. 2). Поэтому содержание кислорода в воде р. Лососинки было отнесено к природным показателям химического состава воды.

¹⁰ Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 10 марта 2020 года).

В течение всего периода наблюдений в 2015 г. цветность воды на изученных участках р. Лососинки была высокой — 94–201 град. (см. табл. 2), что позволяет отнести речную воду к полигумозному классу [19]. Высокая цветность определяла большое количество органического вещества в воде (по бихроматной окисляемости), которое достигало 10,9–39,9 мг О/л или 4,1–15,0 мг С_{орг}/л. С большим содержанием в воде органического вещества преимущественно гумусового происхождения связаны и высокие концентрации общего железа, которые достигали 1,0–3,4 мг/л. Сезонные возрастания величин бихроматной окисляемости воды следовали за повышением ее цветности — в мае и июне, далее — в августе и сентябре соответственно. Недостатка кислорода в воде не наблюдалось, главным образом из-за высокой порожистости и хорошего газобмена между воздухом и водой. Содержание растворенного кислорода находилось в пределах 8,8–12,7 мг/л, насыщение воды кислородом было не ниже 78–94 %. Реакция среды в течение периода открытой воды сохранялась нейтральной с минимальными значениями в период летней межени (июнь – сентябрь). В период открытой воды максимальные величины цветности воды, бихроматной окисляемости, растворенного кислорода наблюдались весной и осенью в паводок, минимальные — в период летней межени (с июня по сентябрь) (рис. 2). Концентрация железа в речной воде нарастала к осени.

Химические показатели загрязнения воды р. Лососинки

В качестве веществ, которые могут иметь отношение к загрязнению речной воды ливневыми

Таблица 1
Загрязняющие вещества в воде ливневых стоков г. Петрозаводска, поступающих в р. Лососинку (июнь 2015 г.)

Показатели	ПДК _{рх}	Min-max* M±m
Взвешенные вещества, мг/л	28,25	2,0–92,0 26,0±7,5
БПК ₅ , мг О ₂ /л	2,1	0,65–21,0 8,0±1,6
Нефтепродукты, мг/л	0,05	0,04–3,93 0,74±0,3

* Min-max — минимальные и максимальные величины; M±m — средняя величина и ошибка средней.

ми стоками, были проанализированы величины БПК₅ как показателя содержания лабильного ОВ в воде, концентрации взвешенных веществ, нефтепродуктов, фосфора. Хотя повышенные концентрации фосфора в водоемах с высокой цветностью воды являются региональной природной особенностью, в то же время этот элемент — один из главных биогенных загрязнителей при попадании в водоемы коммунальных сточных вод (см. табл. 2).

Динамика БПК₅, взвешенных веществ, фосфора и нефтепродуктов в период открытой воды не подчинялась общей сезонной закономерности на всех участках реки, как это проявилось для веществ природного происхождения. В данном случае сходный характер изменений с весенне-раннелетним максимумом наблюдался в загородном участке реки (ст. L-1) и на близлежащей к ней ст. L-2 (см. рис. 1). На расположенных ближе к устью ст. L-3 и L-4, где речные воды более обогащены ливневыми стоками со всей городской территории, фактор сезонности был менее выражен. Возрастание концентраций веществ

на этих станциях наблюдалось, как правило, несколько раз в межлетний период.

Величины БПК₅ в период исследований находились в пределах 1,0–3,9 мг О₂/л, содержание минерального фосфора достигало 4–62 мкг Р/л (см. табл. 2). Наибольшей вариабельностью, достигающей 100 раз, отличались в период исследований концентрации общего фосфора и взвешенных веществ в воде. Величины общего фосфора в реке изменялись от 16 до 232 мкг Р/л. Безусловно, кроме антропогенной составляющей, существенную долю в его высокую концентрацию вносит природный фосфор в органической форме, поступающий в реку с терригенным стоком в комплексе с гумусовым ОВ и железом. Содержание в воде взвешенных веществ изменялось от 2,5 до 238 мг/л на городском участке реки (ст. L-2, L-3, L-4) (см. табл. 2). Кроме загрязнения с ливневыми стоками, увеличению содержания в воде взвешенных веществ способствует взмучивание осадков из-за порожистого характера течения реки и небольшой глубины. Содержание нефтепродуктов в воде на всем изученном

Таблица 2

Химические показатели природного состава и антропогенного загрязнения воды р. Лососинки в период открытой воды 2015 года (над чертой — диапазон значений, под чертой — медиана и ее ошибка)

Показатель	L-1	L-2	L-3	L-4	Класс качества воды*	ПДК**
Цветность, град	<u>94–136</u> 111±11	<u>102–146</u> 124±13	<u>108–153</u> 134±9	<u>102–201</u> 138±15	5	–
Fe _{общ} , мг/л	<u>1,1–2,8</u> 1,45±0,25	<u>1,0–3,4</u> 1,47±0,27	<u>1,2–3,1</u> 1,69±0,28	<u>1,2–3,3</u> 1,56±0,26	4	0,1
Бихроматная окисляемость, мг О/л	<u>12,5–39,9</u> 19,0±4,3	<u>10,9–32,5</u> 25,5±4,9	<u>12,8–34,3</u> 22,4±6,1	<u>13,5–32,2</u> 22,4±3,6	3	–
pH	<u>6,6–7,6</u> 7,2±0,3	<u>6,6–7,5</u> 7,3±0,3	<u>6,4–7,6</u> 7,4±0,3	<u>6,5–7,6</u> 7,4±0,3	2	–
Концентрация О ₂ , мг/л	<u>9,3–12,1</u> 10±0,4	<u>9,5–12,7</u> 10,3±0,5	<u>8,8–12,4</u> 9,9±0,4	<u>9,2–12,7</u> 9,9±0,5	–	6,0
О ₂ , % насыщения воды	<u>84–91</u> 88±2	<u>87–94</u> 91±1	<u>78–90</u> 87±1	<u>85–94</u> 90±1	3	–
БПК ₅ , мг О ₂ /л	<u>1,0–3,9</u> 1,2±0,1	<u>1,2–2,0</u> 1,5±0,2	<u>1,3–3,6</u> 1,9±0,3	<u>1,3–2,0</u> 1,5±0,1	3	2,1
Взвешенные вещества, мг/л	<u>9,5–58,0</u> 35,7±12,6	<u>2,5–238,0</u> 19,2±18,1	<u>7,0–64,0</u> 31,7±8,4	<u>11,0–94,0</u> 20,7±5,1	3	28,25
Фосфор общий, мкг/л	<u>18–232</u> 42±25	<u>45–186</u> 66±10	<u>16–142</u> 62±27	<u>18–111</u> 46±22	3	–
PO ₄ ⁻ , мкг/л	<u>5–56</u> 35±11	<u>9–62</u> 47±14	<u>4–59</u> 45±16	<u>4–54</u> 32±10	3	50***
Нефтепродукты, мг/л	<0,02	0,02–0,04	–	<0,02	3	0,05

Примечания: «–» — данные отсутствуют; * экологическая классификация качества воды [13]: 2 — чистая, 3 — удовлетворительной чистоты, 4 — загрязненная, 5 — грязная; ** ПДК_{рх}² (мг/л); *** для олиготрофных вод.

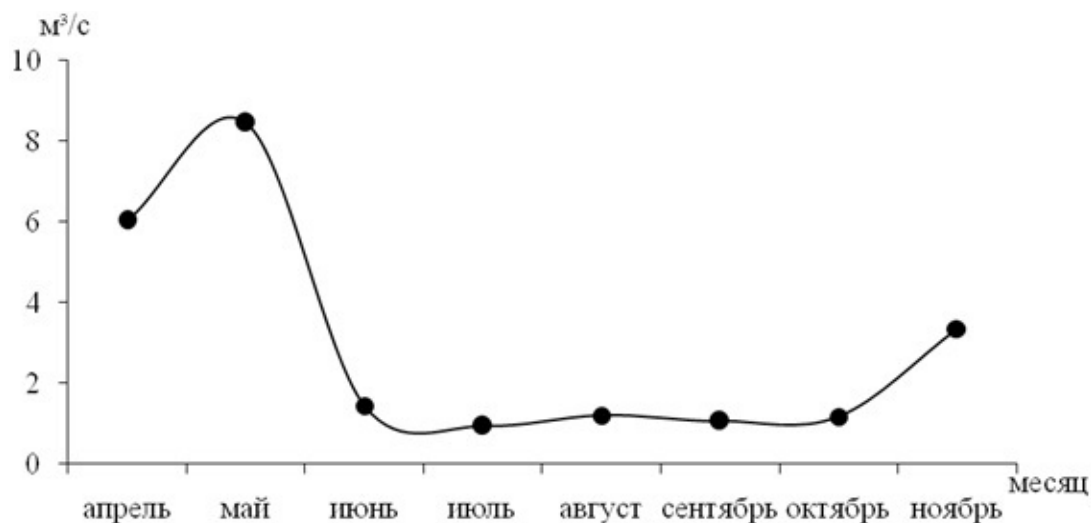


Рис. 2. Расход воды в р. Лососинке в даты отбора проб с апреля по ноябрь 2015 года

участке р. Лососинки, как правило, было ниже пределов чувствительности метода определения (см. табл. 2). Лишь на ст. L-2 один раз нефтепродукты были обнаружены в количестве, достаточном для анализа.

Анализ пространственного распределения показателей химического состава воды в р. Лососинке

Как видно из табл. 2, медианные значения химических показателей на городском участке реки (ст. L-2, L-3, L-4) были выше, чем в загородном районе (ст. L-1). Исключение составляли величина взвешенного вещества, которого в речной воде в пределах городской черты несколько меньше, чем за городом, и содержание кислорода в воде, одинакового на всех изученных участках. Однако эти различия были невелики и не превышали 40 % по отношению к ст. L-1.

Для проверки равенства медиан химических показателей был выполнен многомерный дисперсионный анализ Краскела — Уоллеса, который подтвердил однородность массива данных в городском и загородном участках р. Лососинки (табл. 3). Статистически значимые различия были выявлены лишь для двух показателей — БПК₅ и насыщения воды кислородом.

Для подробного анализа величин БПК₅ и насыщения воды кислородом все станции по этим показателям сравнивались попарно с применением критерия Манна — Уитни. Результаты теста показали, что величина БПК₅ на ст. L-3 достовер-

но выше, чем на ст. L-1 (табл. 4). Это объясняется тем, что выше ст. L-3 в реку отводится ливневый сток № 10 (см. рис. 1), воды которого характеризуются самыми высокими величинами БПК₅ среди 14 городских ливневых стоков, в 10 раз превышающими ПДК_{рх}² (рис. 3). Однако ниже по течению в приустьевом участке реки (ст. L-4) значимых различий в величинах БПК₅ по сравнению с загородным участком (ст. L-1) уже не обнаруживалось. В отношении насыщения воды кислородом критерий Манна — Уитни выявил достоверные различия между ст. L-2 и L-3 на городском участке реки (табл. 5). Это связано с тем, что выше ст. L-2 русло реки имеет перепад высот около 2 м, образуя порог. Падение воды с высоты существенно улучшает газообмен речной воды с воздухом, что отражается в наиболее высокой степени насыщения воды кислородом на ст. L-2 (см. табл. 2).

Таким образом, изученные химические показатели в городском и загородном участках р. Лососинки не имеют значимых различий. Для веществ природного происхождения это объясняется естественным отсутствием в небольшой реке с высокой скоростью течения градиента величин (цветность, бихроматная окисляемость, рН, железо) и наличием порогов и перекатов (кислород). Загрязнению речной воды на территории города легкоминерализуемым ОВ и фосфором препятствуют бактериальные процессы самоочищения, развитию которых способствует

хорошее насыщение воды кислородом. В 2011 и 2012 гг. в р. Лососинке изучался аэробный гетеротрофный бактериопланктон нескольких эколого-трофических групп, минерализующий различное ОВ (общее лабильное ОВ, ОВ фекального происхождения, нефтепродукты и их производные) [18]. Исследования показали, что количество таких бактерий в речной воде на территории г. Петрозаводска было в 2–9 раз, а для бактерий группы кишечной палочки — до 60 раз выше, чем за пределами города.

Качество воды р. Лососинки по химическим показателям

В соответствии с экологической классификацией качества поверхностных вод суши [13] качество воды р. Лососинки можно оценить как удовлетворительное по большинству изученных химических показателей (см. табл. 2). Исключения составляют общее железо и цветность воды, концентрации которых достигают класса загрязненных и грязных вод соответственно. Превышение ПДК_{рх}² отмечается для общего железа и взвешенных веществ, причем по железу этот норматив превышен в 10 раз как в фоновом, так и на городском участках. Если рассматривать загрязнение воды как результат хозяйственной деятельности человека, то нельзя оценивать р. Лососинку как загрязненную железом и трудноминерализуемым ОВ, косвенным показателем которого в классификации [13] служит цветность воды, так как эти показатели имеют природное проис-

хождение, отражая региональные геохимические особенности. Очевидно, что общепринятая экологическая классификация качества поверхностных вод суши по цветности и железу [13], так же как и ПДК_{рх}² для железа, разработанные для водных объектов в широком географическом диапазоне, не имеют экологического смысла при оценке водных объектов Карелии. В России с ее климатическим и геологическим разнообразием для многих загрязняющих веществ вряд ли возможно установить единые ПДК. Как известно, одной из основ для разработки ПДК должны служить фоновые концентрации химических веществ. В то же время, например, медианная природная концентрация общего железа в озерах Карелии — 0,35 мг/л, в реках — в среднем 0,63 мг/л [9] при ПДК_{рх} 0,1 мг/л. Геохимические особенности поверхностных вод Карелии неизбежно возвращают к проблеме региональных ПДК, вопрос о разработке которых поднимается уже давно [4]. В этом отношении чрезвычайно важными представляются разработки П. А. Лозовика [8], где представлены варианты расчетов региональных ПДК. В частности, для химических веществ, фоновые региональные концентрации которых значительно выше общероссийских ПДК, региональные ПДК предлагается рассчитывать как общероссийские ПДК плюс фоновое содержание в регионе.

Особое внимание необходимо уделить высоким ПДК_{рх}, установленным для минерального фосфора². Для олиготрофных вод она составляет 50 мкг/л. Однако в соответствии со всеми известными российскими и зарубежными экологическими шкалами трофности [7] концентрация общего фосфора уже в 30–40 мкг/л является границей перехода водной экосистемы в эвтрофное состояние. В не загрязняемых фосфором водоемах,

Таблица 3
Уровень значимости различий между показателями химического состава воды на различных участках р. Лососинки (критерий Краскела — Уоллиса)

Показатель	p-level
Цветность воды	0,41
Fe _{общ}	0,95
Бихроматная окисляемость воды	0,95
pH	0,85
Концентрация растворенного кислорода	0,62
Насыщение воды кислородом	0,03*
БПК ₅	0,04
Взвешенные вещества	0,85
Фосфор общий	0,85
Фосфор минеральный	0,67

* Жирным шрифтом выделены достоверные уровни значимости различий.

Таблица 4
Уровень значимости различий между показателем БПК₅ на разных участках р. Лососинки (критерий Манна — Уитни)

	L-1	L-2	L-3	L-4
L-1	—	0,38	0,02*	0,86
L-2	0,38	—	1,00	1,00
L-3	0,02	1,00	—	0,97
L-4	0,86	1,00	0,97	—

* Жирным шрифтом выделены достоверные уровни значимости различий.

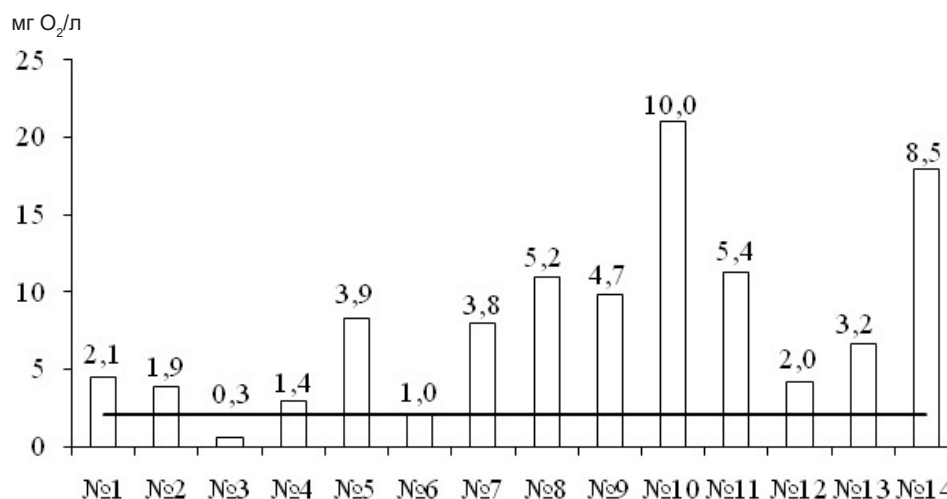


Рис. 3. Динамика БПК₅ в ливневых стоках р. Лососинки: над столбцами указана кратность превышения ПДК_{рх}; горизонтальной линией обозначена ПДК_{рх}² для БПК₅

Таблица 5
Уровень значимости различий между показателем насыщения воды кислородом на разных участках р. Лососинки (критерий Манна — Уитни)

	L-1	L-2	L-3	L-4
L-1		0,44	1,00	1,00
L-2	0,44		0,04*	1,00
L-3	1,00	0,04		0,21
L-4	1,00	1,00	0,21	

* Жирным шрифтом выделены достоверные уровни значимости различий.

к которым обычно и относятся олиготрофные экосистемы, доля минерального фосфора составляет около 10 % от общего [5]. Поэтому при концентрации в водоеме P_{\min} 50 мкг/л содержание общего фосфора может достигать около 500 мг/л, что соответствует гиперэвтрофным водам. Таким образом, если медианные значения минерального фосфора в разных участках р. Лососинки не выходят за пределы олиготрофии в соответствии с ПДК_{рх}², то по экологическим трофическим классификациям [7] они достигают эвтрофного уровня.

Заключение

Экологическая оценка качества воды показала, что вода в урбанизированном притоке Онежского озера р. Лососинке по показателям рН соответствует второму классу качества (чистые воды). По бихроматной окисляемости воды, БПК₅, насыщению воды кислородом, взвешен-

ным веществам, общему и минеральному фосфору, нефтепродуктам речные воды соответствуют третьему классу качества (удовлетворительной чистоты). По содержанию общего железа вода характеризуется как загрязненная, по цветности — как грязная. ПДК, установленные для рыбохозяйственных водоемов, превышены по железу и взвешенным веществам. Общероссийская классификация качества поверхностных вод по цветности и общему железу и рыбохозяйственные общероссийские ПДК для общего железа неприменимы для водных объектов Карельского гидрографического региона, где высокие значения этих показателей являются не следствием загрязнения, а особенностью природного химического состава вод. В соответствии с экологической шкалой трофности содержание общего фосфора в речной воде характеризует речную систему как эвтрофную. Не обнаружено статистически значимых различий между содержанием в воде показателей загрязнения (БПК₅, взвешенные вещества, фосфор, нефтепродукты) в воде городского и загородного участков реки. Активные бактериальные процессы утилизации легкоминерализуемого ОВ препятствуют ухудшению ее качества на территории г. Петрозаводска. Для улучшения ситуации на р. Лососинке необходимы возведение сооружений для очистки ливневых стоков и засаживание берегов устойчивыми к загрязнению кустарниками (ива).

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН.

Литература

1. Алекин, О. А., Семенов, А. Д. и Скопинцев, Б. А. (1973). Руководство по химическому анализу вод суши. 3-е издание. Л.: Гидрометеиздат, 269 с.
2. Балаганский, А. Ф., Карпечко, В. А., Литвиненко, А. В. и Сало, Ю. А. (2015). Ресурсы речного стока и водный баланс. В: Филатов, Н. Н. (ред.). Крупнейшие озера-водохранилища северо-запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, сс. 31–38.
3. Варшал, Г. М., Велюханова, Т. К. и Кошечева, И. Я. (1993). Геохимическая роль гумусовых кислот в миграции элементов. В: Орлов, Д. С. (ред.). Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, сс. 97–117.
4. Волков, И. В., Заличева, И. Н., Шустова, Н. К. и Ильмаст, Т. Б. (1996). Есть ли экологический смысл у системы общедеревенных рыбохозяйственных ПДК? Экология, № 5, сс. 350–354.
5. Заличева, И. Н. и Волков, И. В. (1994). К вопросу о регламентировании антропогенной нагрузки биогенными веществами на водные экосистемы в таежной природно-климатической зоне. Водные ресурсы, Т 21, № 6, сс. 674–679.
6. Карпечко, В. А. (2013). Гидрографическая и гидрологическая характеристика водотоков. В: Литвиненко, А. В. и Регеранд, Т. И. (ред.). Водные объекты города Петрозаводска. Петрозаводск: КарНЦ РАН, сс. 25–27.
7. Китаев, С. П. (2007). Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 395 с.
8. Лозовик, П. А. и Платонов, А. В. (2005). Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического района. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология, № 6, сс. 527–532.
9. Лозовик, П. А., Сабылина, А. В. и Рыжаков, А. В. (2013). Химический состав озерных вод. В: Филатов, Н. Н. и Кухарев, В. И. (ред.). Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск: КарНЦ РАН, сс. 30–37.
10. Лозовик, П. А., Шкиперова, О. Ф., Зобков, М. Б. и Платонов, А. В. (2006). Геохимические особенности поверхностных вод Карелии и их классификация по химическим показателям. Труды Карельского научного центра РАН, № 9, сс. 130–143.
11. Лукина, Ю. Н. и Беличева, Л. А. (2013). Оценка качества вод на основе биомаркеров. В: Литвиненко, А. В. и Регеранд, Т. И. (ред.). Водные объекты города Петрозаводска. Петрозаводск: КарНЦ РАН, сс. 85–91.
12. Михайлов, В. Н., Добровольский, А. Д. и Добролюбов, С. А. (2007). Гидрология. 2-е издание. М.: Высшая школа, 463 с.
13. Оксий, О. П., Жукинский, В. Н., Брагинский, Л. П., Линник, П. Н., Кузьменко, М. И. и Кленус, В. Г. (1993). Комплексная экологическая классификация поверхностных вод суши. Гидробиологический журнал, № 4 (29), сс. 62–76.
14. Рыжков, Л. П., Горохов, А. В. и Марченко, Л. П. (2012). Трансформация химического состава вод реки Лососинки под воздействием природных и антропогенных факторов. Ученые записки ПетрГУ, № 8 (129), Т. 1, сс. 20–24.

15. Сабылина, А. В. (2016). Поступление в Онежское озеро органического углерода, общего фосфора и общего азота с речным стоком и вынос с водами р. Свири в 1965–2008 годах. Труды Карельского научного центра РАН, № 9, сс. 68–77. DOI: 10.17076/lim307.

16. Семенов, А. Д. (ред.) (1977). Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 541 с.

17. Теканова, Е. В., Калинин, Н. М. и Кравченко, И. Ю. (2018). Геохимические особенности функционирования биоты в водоемах Карелии. Известия Российской академии наук, Серия географическая, № 1, сс. 90–100. DOI: 10.7868/S2587556618010083.

18. Теканова, Е. В., Макарова, Е. М. и Калинин, Н. М. (2015). Оценка состояния воды притоков Онежского озера в условиях антропогенного загрязнения по микробиологическим и токсикологическим показателям. Труды Карельского научного центра РАН, № 9, сс. 44–52. DOI: 10/17076/lim35.

19. Lozovik, P. A. (2013). Geochemical classification of surface waters in humid zone based on their acid-base equilibrium. *Water Resources*, Vol. 40, Issue 6, pp. 631–639. DOI: 10.1134/S0097807813060067.

20. Sabylina, A. V., Lozovik, P. A. and Zobkov, M. B. (2010). Water chemistry in Onega Lake and its tributaries. *Water Resources*, Vol. 37, Issue 6, pp. 842–853. DOI: 10.1134/S0097807810060102.

21. Slukovskii, Z. I. and Polyakova T. N. (2017). Analysis of accumulation of heavy metals from river bottom sediments of the urban environment in the bodies of oligochaetes. *Inland Water Biology*, Vol. 10, Issue 3, pp. 315–322. DOI: 10.1134/S1995082917030154.

References

1. Alekin, O.A., Semyonov, A. D. and Skopintsev, B. A. (1973). *Manual for the chemical analysis of inland waters*. 3rd edition. Leningrad: Gidrometeoizdat, 269 p.
2. Balagansky, A. F., Karpechko, V. A., Litvinenko, A. V. and Salo, Yu. A. (2015). River flow resources and water balance. In: Filatov, N. N. (ed.) *Current state and changes of ecosystems of large lakes-reservoirs of the North-West European territory of Russia under climate change and human impact*. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, pp. 31–38.
3. Varshal, G. M., Velyukhanova, T. K. and Koshcheyeva, I. Ya. (1993). Geochemical role of humic acids in element migration. In: Orlov, D. S. (ed.) *Humic Substances in the Biosphere*. Moscow: Nauka, pp. 97–117.
4. Volkov, I. V., Zalicheva, I. N., Shustova, N. K. and Ilmast, T. B. (1996). Is there an environmental sense in nationwide commercial fishery MPCs? *Ekologiya*, No. 5, pp. 350–354.
5. Zalicheva, I. N. and Volkov, I. V. (1994). On regulation of anthropogenic biogenic load on water ecosystems in the taiga natural and climatic zone. *Water Resources*, Vol. 21, No. 6, pp. 674–679.
6. Karpechko, V. A. (2013). Hydrographic and hydrological characteristics of watercourses. In: Litvinenko, A. V. and Regerand, T. I. (eds.) *Water bodies of the city of Petrozavodsk*. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, pp. 25–27.
7. Kitayev, S. P. (2007). *Basic general limnology for hydrobiologists and ichthyologists*. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 395 p.

8. Lozovik, P. A. and Platonov, A. V. (2005). Determination of regional maximum permissible concentrations of pollutants by the example of Karelia hydrographic region. *Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*, No. 6, pp. 527–532.
9. Lozovik, P. A., Sabylina, A. V. and Ryzhakov, A. V. (2013). Chemical composition of lake waters. In: Filatov, N. N. and Kukharev, V. I. (eds.) *Lakes of Karelia. Reference Book*. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, pp. 30–37.
10. Lozovik, P. A., Shkiperova, O. F., Zobkov, M. B. and Platonov, A. V. (2006). Geochemical properties of Karelian surface water and their classification by chemical parameters. *Transactions of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences*, No. 9, pp. 130–143.
11. Lukina, Yu. N. and Belicheva, L. A. (2013). Assessment of water quality based on biomarkers. In: Litvinenko, A. V. and Regerand, T. I. (eds.) *Water bodies of the city of Petrozavodsk*. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, pp. 85–91.
12. Mikhailov, V. N., Dobrovolsky, A. D. and Dobrolyubov, S. A. (2007). *Hydrology*. 2nd edition. Moscow: Vysshaya Shkola, 463 p.
13. Oksiyuk, O. P., Zhukinsky, V. N., Braginskiy, L. P., Linnik, P. N., Kuzmenko, M. I. and Klenus, V. G. (1993). Integrated environmental classification of land surface water quality. *Gidrobiologicheskii Zhurnal*, Vol. 29, No. 4, pp. 62–76.
14. Rizhkov, L.P., Gorohov, A.V. and Marchenko, L. P. (2012). Effect of natural and anthropogenic factors on chemical composition of water in Lososinka River. *Proceedings of Petrozavodsk State University*, No. 8 (129), Vol. 1, pp. 20–24.
15. Sabylina, A. V. (2016). Organic carbon, total phosphorus and total nitrogen inflow to Lake Onego with stream runoff, and their removal by Svir River waters in 1965–2008. *Transactions of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences*, № 9, pp. 68–77. DOI: 10.17076/lim307.
16. Semyonov, A. D. (ed.) (1977). *Manual for the chemical analysis of land surface waters*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 541 p.
17. Tekanova, E. V., Kalinkina, N. M., Kravchenko, I. Yu. (2018). Geochemical peculiarities of biota functioning in water bodies of Karelia. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, No. 1, pp. 90–100. DOI: 10.7868/S2587556618010083.
18. Tekanova, E. V., Makarova, E. M., Kalinkina N. M. (2015) An assessment of the condition of the water of Lake Onego inflowing streams under human impact influence using microbiological and toxicological parameters. *Transactions of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences*, No. 9, pp. 44–52. DOI: 10/17076/lim35.
19. Lozovik, P. A. (2013). Geochemical classification of surface waters in humid zone based on their acid-base equilibrium. *Water Resources*, Vol. 40, Issue 6, pp. 631–639. DOI: 10.1134/S0097807813060067.
20. Sabylina, A. V., Lozovik, P. A. and Zobkov, M. B. (2010). Water chemistry in Onega Lake and its tributaries. *Water Resources*, Vol. 37, Issue 6, pp. 842–853. DOI: 10.1134/S0097807810060102.
21. Slukovskii, Z. I. and Polyakova T. N. (2017). Analysis of accumulation of heavy metals from river bottom sediments of the urban environment in the bodies of oligochaetes. *Inland Water Biology*, Vol. 10, Issue 3, pp. 315–322. DOI: 10.1134/S1995082917030154.

Авторы

Теканова Елена Валентиновна, канд. биол. наук
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ
«Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия
E-mail: etekanova@mail.ru

Макарова Елена Михайловна

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ
«Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия
E-mail: emm777@bk.ru

Калинкина Наталия Михайловна

д-р биол. наук
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ
«Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия
E-mail: cerioda@mail.ru

Authors

Elena Valentinovna Tekanova, PhD in Biology
Northern Water Problems Institute, Karelian Research
Center of the Russian Academy of Sciences, Karelian Research
Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk,
Russia
E-mail: etekanova@mail.ru

Elena Mikhailovna Makarova

Northern Water Problems Institute, Karelian Research
Center of the Russian Academy of Sciences, Karelian Research
Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk,
Russia
E-mail: emm777@bk.ru

Natalia Mikhailovna Kalinkina

DSc in Biology
Northern Water Problems Institute, Karelian Research
Center of the Russian Academy of Sciences, Karelian Research
Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk,
Russia
E-mail: cerioda@mail.ru