

Состояние макрозообентоса малых озер урбанизированных территорий Карелии (на примере озер Плотичье и Китайское)

Е.С. Савосин 

✉ szhenya@list.ru

Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, г. Петрозаводск, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Оценка особенностей формирования донного сообщества в водоемах в условиях возрастающих воздействий антропогенного характера представляется актуальной задачей научно-исследовательских работ, направленных на краткосрочный и долгосрочный мониторинг состояния водных объектов. В статье представлены материалы исследований современного состояния сообществ зообентоса малых озер Китайское и Плотичье, подверженных влиянию антропогенных факторов. **Методы.** Проведены анализ качественного и количественного состава, оценка видового разнообразия зообентоса, структуры видов-доминантов, их процентного соотношения в составе пробы в литоральных и профундальных зонах. **Результаты.** Анализ полученных данных показал, что по уровню развития зообентоса оба водоема соответствуют мезотрофным, по величине хириноидного индекса относятся к умеренно-загрязненным. Доказано, что доминирование наиболее толерантных к условиям среды групп макрозообентоса свойственно экосистемам урбанизированных территорий. Установлено, что в условиях хозяйственного освоения озер длительное эвтрофирование ведет к трансформации экосистемы и оказывает негативное влияние на биотические параметры качества поверхностных вод. Полученные результаты могут служить базисом для проведения комплексных работ по экологическому мониторингу водных объектов урбанизированных территорий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: малые озера, пресноводная экосистема, зообентос, трофический статус, экологический мониторинг.

Финансирование: Финансовая поддержка работы осуществлялась в рамках государственного задания № FMEN-2022-0007.

Для цитирования: Савосин Е.С. Состояние макрозообентоса малых озер урбанизированных территорий Карелии (на примере озер Плотичье и Китайское) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 5. С. 34-42. DOI: 10.35567/19994508_2023_5_3.

Дата поступления 06.03.2023.

THE STATE OF THE KARELIA SMALL LAKES MACRO/ZOOBENTOS UNDER THE CONDITIONS OF URBANIZATION (THE LAKES PLOTICHYE AND KITAYSKOYE AS A STUDY CASE)

Evgeniy S. Savosin 

✉ szhenya@list.ru

Institute of Biology of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

© Савосин Е.С., 2023

ABSTRACT

Relevance. Assessment of special features of the bottom community formation in water bodies under the conditions of growing anthropogenic impacts seems to be an urgent task of researches aimed at the short-term and long-term monitoring of the water bodies' status. The article presents the materials of studies of the current state of zoo/benthic communities of small lakes in the Republic of Karelia (Kitaiskoye and Plotichye) affected by anthropogenic factor. **Methods.** Analysis of the qualitative and quantitative composition, an assessment of the species diversity of zoo/benthos, the structure of dominant species, and their percentage in the composition of the sample in the littoral and profundal zones was carried out. **Results.** Analysis of studies showed that in terms of the level of development of zoo/benthos, both reservoirs relate to mesotrophic ones, and in terms of the value of the chironomid index they relate to moderately polluted. It has been shown that dominion of the macro/zoo/benthos groups most tolerant to the environmental conditions leads to the ecosystem transformation and negatively affects to the surface waters quality biotic parameters. The results obtained can serve as a basis for carrying out integrated works on environmental monitoring of the urbanized territories.

Keywords: freshwater ecosystem, invertebrates, abundance, biomass, trophic status, ecology.

Financing: Financial support for the work was carried out within the framework of the state assignment № FMEN-2022-0007.

For citation: Savosin E.S. The state of the Karelia small lakes macro/zoo/benthos under the conditions of urbanization (the lakes Plotichye and Kitayskoye as a study case). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 5. P. 34-42. DOI: 10.35567/19994508_2023_5_3.

Received 06.03.2023.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение особенностей сообществ гидробионтов в разнотипных водных экосистемах является одной из фундаментальных задач гидробиологии [1–4]. Гидробиоценоз – важнейший компонент биосферы, испытывающий существенное влияние антропогенного фактора на всех трофических уровнях. Значительное воздействие связанных с урбанизацией факторов на континентальные водоемы, такие, как водохранилища, озера, реки, приводит к изменениям природных условий водных экосистем.

В условиях антропогенного влияния в рамках мониторинга водных объектов, за счет особенностей донных беспозвоночных, становится возможным определить состояние водоема и дать прогностическую оценку даже на основании собранных за короткий период наблюдений данных.

Сообщество макрозообентоса позволяет оценить пресноводные экосистемы, благодаря способности аккумулировать распределенные в водной среде вещества и достаточной продолжительности жизни в самых разнообразных биотопах [5–7]. Донное сообщество водоема может достоверно проиллюстрировать последствия длительного загрязнения водных экосистем. Одной из возможных областей применения показателей сообщества беспозвоночных является метод биоиндикации, активно и успешно использующийся в последнее время. В связи со значительной хозяйственной и рекреационной деятельностью на водных объектах очевидна практическая значимость подобных исследований.

Республика Карелия обладает развитой гидрографической сетью, включающей более 60 тыс. озер и 23 тыс. рек, при этом наиболее подвержены антропогенному влиянию водные биоценозы в условиях измененной среды. Городские водоемы, вследствие химического загрязнения и сопутствующего эвтрофирования, характеризуются низким качеством вод.

Значительное количество исследований, посвященных оценке современного состояния урбанизированных водоемов, проведено в различных субъектах Российской Федерации [8–10], но, к сожалению, эта актуальная проблематика пока еще слабо представлена в научных работах по водным объектам Республики Карелия.

Цель данного исследования – оценить современное состояние донного сообщества двух малых урбанизированных озер – Плотичье и Китайское – в Республике Карелия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение сообщества зообентоса проводили на двух малых озерах Карелии (Плотичье и Китайское) осенью 2018 г. по единой методике. Водоемы расположены в черте г. Медвежьегорска (рисунок). Данных по этим озерам в литературных источниках не обнаружено.

Изучаемые озера имеют очень малые площади – 0,09 км² оз. Плотичье и 0,12 км² Китайское. Характеристика озер представлена в табл. 1.



Рисунок. Картограмма объектов исследования.
Fig. Schematic map of the objects under research.

Пробы зообентоса отбирали с помощью дночерпателя ДАК-250 (модификация Экмана–Берджа) по стандартной методике. На каждом водоеме отобрано по шесть гидробиологических проб в двух повторностях. Камеральную обработку проводили в лаборатории с использованием бинокля МБС-10 и

Таблица 1. Основные морфологические характеристики исследуемых озер
 Table 1. Main morphological characteristics of the lakes studied

Параметры	оз. Плотичье	оз. Китайское
Координаты	62°54 с.ш., 34°25' в.д.	62°53 с.ш., 34°25' в.д.
Площадь, км ²	0,09	0,12
Максимальная длина, м	460	900
Средняя ширина, м	250	200
Максимальная глубина, м	14	18
Средняя глубина, м	6	8

цифрового микроскопа ЛОМО Микмед-6^{1,2} [11]. При идентификации организмов зообентоса использовали общепринятые определители³ [12–15].

Анализ уровня сапробности озер с использованием выявленных видов-индикаторов зообентоса проводили по методу Пантле–Букка, учитывая региональные особенности водоемов Карелии [16, 17]. Уровень трофности оценивали по шкале С.П. Китаева [18].

В качестве дополнительного показателя качества вод применяли хирономидный индекс (К) и индекс Майера [3].

$$K = \frac{\alpha_t + 0,5\alpha_{ch}}{\alpha_0},$$

где α_{ch} – Chironominae; α_0 – Ortocladiinae и Diamesinae; α_t – Tanipodinae, $\alpha = N + 10$, где N – относительная численность особей всех видов данного подсемейства в процентах от общей численности особей всех хирономид. Значение индекса К от 0,14 до 1,08 характеризует чистые воды, 1,08–6,05 – умеренно загрязненные, 6,5–9,0 – загрязненные, 9,0–11,5 – грязные.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях нарастающей урбанизации, как одного из антропогенных факторов, изучение городских водных объектов актуально и имеет практическое применение [1]. Преобладающими источниками антропогенного воздействия на экосистемы исследуемых водоемов являются автомобильный и железнодорожный транспорт.

В работах ряда авторов по исследованию зообентоса в городских водных объектах отмечается связь процесса миграции и накопления поллютантов в гидробионтах в результате загрязнения донных осадков. Донные организмы урбанизированной территории активно накапливают Zn, Mo, Cu, Sb и Pb, пре-

¹ Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях. Л., 1984. 19 с.

² Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Наука, 1983. 50 с.

³ Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России: Т. 2. Зообентос / под ред. В.Р. Алексеева и С.Я. Цалолыхина. М. СПб.: Тов-во науч. изд. КМК, 2016. 457 с.

образуя условия окружающей среды, что, в конечном итоге, приводит к их угнетению и гибели [9, 19–21].

Озеро Плотичье (Мыльное) характеризуется равномерным рельефом дна. Отбор проб проводили в профундальной зоне озера, на глубинах свыше 7 м. Преобладающими донными отложениями озера были коричневые илы на глинистых грунтах, иногда с обильными детритными остатками. Донная фауна в водоеме представлена всего двумя таксонами: Chironomidae и Oligochaeta. Основу биомассы малощетинковых червей обеспечивал *Lumbriculus variegatus* (Müller, 1774), среди хирономид отмечены представители подсемейства Chironominae (триба Chironomini, Tanytarsini) и Tanytarsinae (табл. 2). Средняя биомасса общего макрозообентоса в озере составляла $2,53 \pm 0,50$ г/м², численность – 460 ± 55 экз/м².

Хирономидный индекс К для оз. Плотичье равен 1,55, что свидетельствует об умеренном уровне загрязнения. В составе макрозообентоса обнаружены три вида-индикатора органического загрязнения, сапробность составила 2,6. Таким образом, водоем можно отнести к загрязненным (4 класс качества вод).

Озеро Китайское, расположенное практически в центре г. Медвежьегорска, характеризуется наличием нескольких ярко выраженных биотопов, поэтому сетка станций охватывала его литораль и профундаль. Грунт в зарослевой зоне озера представлен серо-оливковыми и буроватыми илами, песчаной и иристо-песчаной фацией.

В осенний период в фауне донных беспозвоночных преобладали личинки хирономид и двустворчатые моллюски. В литоральной зоне отмечены представители Ephemeroptera, Megaloptera, Ceratopogonidae. Доминирующий комплекс Chironomidae (до 90 %) состоял из представителей подсемейства Chironominae (триба Chironomini, Tanytarsini), Orthoclaadiinae и Prodiamesinae (табл. 2)

Общий список видов и форм зообентоса исследованных водоемов составил 14 наименований: для оз. Плотичье идентифицировано 6 видов, для оз. Китайское – 13. Значительную долю составляют насекомые из отряда Diptera (личинки семейств Chironomidae, Ceratopogonidae). Из других отрядов преобладают Ephemeroptera, Trichoptera, Megaloptera, также обнаружены группы беспозвоночных – Oligochaeta, Bivalvia. Средняя биомасса макрозообентоса оз. Китайское за период исследования составляла $2,74 \pm 0,53$ г/м² при численности 860 ± 103 экз/м².

В составе макрозообентоса обнаружены два вида-индикатора органического загрязнения, сапробность составила 2,8, водоемы можно отнести к загрязненным (4 класс качества вод). Индекс Майера равен 11, что характеризует оз. Китайское как умеренно-загрязненный (3 класс качества) водоем. Согласно полученному значению хирономидного индекса Балускиной (2,25) оз. Китайское также умеренно-загрязненное.

Исследованные озера по основным показателям зообентоса соответствуют мезотрофным α -мезосапробным водоемам. При использовании индекса сапробности расчеты проводили только по индикаторным видам, которые имеют значение в оценке органического загрязнения.

Таксон	оз. Плотичье (Мыльное)	оз. Китайское
Oligochaeta		
<i>Lumbriculus variegatus</i> (Müller, 1774)	+	–
Chironomidae		
<i>Corynocera ambigua</i> (Zetterstedt, 1837)	+	+
<i>Chironomus</i> sp.	+	+
<i>Chironomus plumosus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
<i>Procladius</i> sp.	+	+
<i>Tan tarsus</i> sp.	–	+
<i>Sergentia coracina</i> (Zetterstedt, 1850)	+	+
<i>Microtendipes pedellus</i> (De Geer, 1776)	–	+
<i>Monodiamesa bathyphila</i> Kieffer, 1918	–	+
<i>Zalutschia zalutschicola</i> (Lipina, 1939)	–	+
Ceratopogonidae		
<i>Bezzia</i> sp.	–	+
Ephemeroptera		
<i>Caenis rivulorum</i> (Eaton, 1884)	–	+
Megaloptera		
<i>Sialis sordida</i> (Klingstedt, 1932)	–	+
Bivalvia		
<i>Pisidium</i> sp.	–	+
Всего таксонов	6	13
Количественные показатели		
Средняя численность, экз/м ²	460±124	860±232
Средняя биомасса, г/м ²	2,53±0,78	2,74±0,84
Индекс Майера	–	11
Индекс Балушкиной (К)	1,55	2,25
Индекс сапробности (S)	2,60	2,80

Следует отметить, что таких урбанизированных водных объектов (ламп и малых озер) в Карелии очень много. В перспективе это означает потенциально большой массив данных для исследования, мониторинга и прогнозирования изменений в водных экосистемах региона.

ВЫВОДЫ

В рамках проведенного исследования установлено, что урбанизированные малые озера (Плотичье и Китайское) имеют сходные количественные характеристики бентоценозов (средняя биомасса, численность), а также уровень трофности (оба водоема – мезотрофные). Это объясняется территориальным расположением исследуемых озер, а также практически одинаковым комплексом факторов, формирующих бентофауну и экосистему в целом. Ввиду отличающейся схемы отбора проб макрозообентоса, связанной с особенностями морфологии оз. Плотичье (отсутствие литоральной зоны), у исследованных озер выявлены отличия качественного состава зообентоса: для озера Китай-

ского индекс видового обилия был значительно выше в связи с присутствием литоральной зарослевой зоны, заселенной представителями насекомых.

По результатам проведенной работы можно сделать вывод, что, вызванное антропогенным воздействием эвтрофирование малых озер характеризуется упрощением трофической структуры, обеднением видового состава, доминированием наиболее толерантных групп макрозообентоса, к которым, несомненно, относятся Chironomidae.

Вследствие постоянного возрастания влияния деятельности человека на природные объекты, полученные данные фаунистических исследований урбанизированных территорий имеют практическое значение. Аналогичные исследования необходимо продолжать для выявления методов и решений, касающихся решения экологических проблем региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов А.Ф. Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа. М.: Научный мир, 2004. 296 с.
2. Алимов А. Ф. Еще раз об экологии. М. – СПб: Тов-во науч. изд. КМК., 2016. 62 с.
3. Балущкина Е. В. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. СПб.: ЗИН РАН, 1997. С. 266–292.
4. Павлов Д. С., Стриганова Б. Р. Биологические ресурсы России и основные направления фундаментальных исследований // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2005. С. 4–20.
5. Баканов А. И. Использование характеристик разнообразия зообентоса для мониторинга состояния пресноводных экосистем // Мониторинг биоразнообразия. М., 1997. С. 278 – 283.
6. Баканов А. И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов (обзор) // Биология внутренних вод. ИБВВ РАН. 2000. № 1. С. 68–82.
7. Яковлев В. А. Пресноводный зообентос Северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. Ч. 1. 161 с. Ч. 2. 145 с.
8. Ахмедова Г. А., Расулова М. М. Состояние малых озер в урбанизированных ландшафтах и их защита в условиях антропогенной нагрузки (на примере озер Ак-Гель и Большое Турали) // Юг России: экология, развитие. 2009. Т. 4. № 4. С. 134–138.
9. Беляков В. П., Бажора А. И., Сотников И. В. Мониторинг экологического состояния городских водоемов Санкт-Петербурга по показателям зообентоса // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 6. С. 51–56.
10. Слукровский З. И. Геохимическая спецификация донных отложений малых озер урбанизированных районов Республики Карелия // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2018. Т. 15. С. 501–504.
11. Жадин В. И. Методика изучения донной фауны и экологии донных беспозвоночных // Жизнь пресных вод СССР. М.; Л., 1956. Т. 4. Ч. 1. С. 279–382.
12. Нарчук Э. П. Определитель беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб., 1999. С. 210–296.
13. Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С. Краткий определитель пресноводных беспозвоночных центра Европейской России. М.: МАКС Пресс, 2003. 196 с.
14. Timm T. A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe. Lauterbornia, 2009. P. 1–235.
15. Wiederholm, T. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and Diagnoses. Part 1. Larvae. Entomologica scandinavica Supplement. 1983. № 19. P. 1– 457.
16. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л.: Наука, 1974. 59 с.
17. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // Archive Fur Hydrobiogyl. Ergebnisse der Limnologie. 1973. Bd. 7. 218 p.

18. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
19. Ромашкова Ю.А. Малые озера урбанизированных территорий г. Тольятти: таксономический состав, структура донных сообществ. ИБВВ РАН, 2015. Т. 24. № 4. С. 32–47.
20. Слуковский З. И., Медведев А. С., Бубнова Т. П., Сыроежко Е. В. Накопление и вертикальное распределение тяжелых металлов в сапропеле озера Грязное (Медвежьегорский район, Республика Карелия) // Труды Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20. № 1–2. С. 177–188.
21. Слуковский З.И., Полякова Т. Н. Анализ накопления тяжелых металлов в организме олигохет из речных донных отложений урбанизированной среды // Биология внутренних вод. 2017. № 3. С. 73–82.

REFERENCES

1. Alimov A.F. Patterns of the hydro/biological regime of reservoirs of various types. M.: *Nauchnyi mir* [Scientific world]. 2004. 296 p. (In Russ.).
2. Alimov A.F. Once again about ecology. M.: SPb: Tov-vo nauch. izd. KMK, 2016. 62 p. (In Russ.).
3. Balushkina E.V. Application of an integral indicator to assess the quality of waters according to the structural characteristics of bottom communities. *Reaktsiya ozernykh ekosistem na izmeneniye bioticheskikh i abioticheskikh usloviy* [Reaction of lake ecosystems to changes in biotic and abiotic conditions]. SPb: ZIN RAN, 1997. P. 266–292 (In Russ.).
4. Pavlov D.S., Striganova B.R. Biological resources of Russia and the main directions of fundamental research. *Fundamentalniye osnovy upravleniya biologicheskimi resursami* [Fundamental principles of biological resources management]. M.: Tov-vo nauch. izd. KMK [KMK Association of scientific publishing houses], 2005. P. 4–20 (In Russ.).
5. Bakanov A.I. Using the characteristics of zoobenthos diversity to monitor the state of freshwater ecosystems. *Monitoring bioraznoobraziya* [Biodiversity monitoring]. M., 1997. P. 278–283 (In Russ.).
6. Bakanov A.I. Use of zoobenthos for monitoring freshwater reservoirs (review). *Biologiya vnutrennikh vod* [Biology of internal waters]. IBVV RAN, 2000. No. 1. P. 68–82 (In Russ.).
7. Yakovlev V.A. Freshwater zoobenthos of Northern Fennoscandia (diversity, structure and anthropogenic dynamics). Apatity: Ed. KSC RAS, 2005. Part 1. 161 p. Part 2. 145 p.
8. Akhmedova G. A., Rasulova M. M. The state of small lakes in urban landscapes and their protection under anthropogenic load (on the example of Ak-Gel and Bolshoye Turali lakes). *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: ecology and development]. 2009. Vol. 4. No. 4. P. 134–138 (In Russ.).
9. Belyakov V.P., Bazhora A.I., Sotnikov I.V., Monitoring of the ecological state of urban reservoirs of St. Petersburg in terms of zoobenthos. *Trudy Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Publication by Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2015. Vol. 17. No. 6. P. 51–56 (In Russ.).
10. Slukovsky Z.I., Geochemical specification of bottom sediments of small lakes in urban areas of the Republic of Karelia. *Tr. Fersmanovskoy nauchnoy sessiyi GI KNTs RAN* [Proceedings of Fersman scientific session of GI KSC RAS]. 2018. Vol. 15. P. 501–504 (In Russ.).
11. Zhadin V.I. Methods of studying the benthic fauna and ecology of benthic invertebrates. *Zhizn presnykh vod SSSR* [Life of fresh waters of the USSR]. M.; L. 1956. Vol. 4. Part 1. P. 279–382.
12. Narchuk E.P. Determinant of invertebrates in Russia and adjacent territories. SPb., 1999. P. 210–296 (In Russ.).
13. Chertoprud M. V., Chertoprud E. S. A brief guide to freshwater invertebrates of the center of European Russia. M.: MAKS Press, 2003. 196 p. (In Russ.).
14. Timm T. A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe. Lauterbornia, 2009. P. 1–235.
15. Wiederholm T. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and Diagnoses. Part 1. Larvae. *Entomologica scandinavica Supplement*, 1983. N. 19. P. 1–457.
16. Makrushin AV Biological analysis of water quality. L.: Nauka, 1974. 59 p. (In Russ.).
17. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. *Archive Fur Hydrobiology. Ergebnisse der Limnologie*. 1973. Bd. 7. 218 p.

18. Kitaev S.P. Basic limnology for hydro/biologists and ichthyologists. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 395 p. (In Russ.).
19. Romashkova Yu.A. Small lakes of urbanized areas of Togliatti: taxonomic composition, structure of benthic communities. IBVV RAN, 2015. Vol. 24.N. 4. P. 32–47 (In Russ.).
20. Slukovsky Z.I., Medvedev A.S., Bubnova T.P., Syroezhko E.V., Accumulation and vertical distribution of heavy metals in the sapropel of Gryaznoe Lake (Medvezhyegorsk District, Republic of Karelia). Tr. Murmansk State Technical University. 2017. Vol. 20. No. 1–2. P. 177–188 (In Russ.).
21. Slukovsky Z.I., Polyakova T.N. Analysis of the accumulation of heavy metals in the body of oligochaetes from river bottom sediments of an urbanized environment. *Biologiya vnutrennikh vod* [Biology of Internal Waters]. 2017. No. 3. P. 73–82 (In Russ.).

Сведения об авторе:

Савосин Евгений Сергеевич, канд. биол. наук, Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, Россия, 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11; ORCID: 0000-0003-0650-1829; e-mail: szhenya@list.ru.

About the author:

Eugeny S. Savosin, Candidate of Biological Sciences, Institute of Biology of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11. Petrozavodsk, 185910, Russia; ORCID: 0000-0003-0650-1829; e-mail: szhenya@list.ru