

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ БАССЕЙНА РЕКИ КАРЫ, ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ УГЛЕВОДОРОДОВ

*Е.Н. Патова*<sup>1)\*</sup>, *А.С. Стенина*<sup>1)</sup>, *Л.Н. Тикушева*<sup>2)</sup>, *О.А. Лоскутова*<sup>1)</sup>,  
*М.Д. Сивков*<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Институт биологии Коми научного центра УрО РАН,  
Россия, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28; \**patova@ib.komisc.ru*

<sup>2)</sup> Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,  
Россия, 167005, г. Сыктывкар, ул. Петрозаводская, д. 120

**Резюме.** Создание инфраструктуры для транспортировки газа приводит к значительным антропогенным нагрузкам на легкоранимые и трудно восстанавливающиеся природные комплексы арктических регионов. Оценено влияние строительства и эксплуатации магистрального газопровода «Бованенково-Ухта» (участка трубопроводной системы «Ямал-Европа») на водные экосистемы Полярного Урала и прилегающей территории Большеземельской тундры. На фоновых и антропогенно измененных участках водотоков и в озерах бассейна реки Кара выполнен анализ химического состава поверхностных вод, донных отложений, состава и структуры зообентоса и альгофлоры. Показано, что водные объекты в местах прохождения линейных сооружений и инфраструктуры газопровода испытывают значительные нагрузки; изменение гидрологического режима создает реальную угрозу первозданным водным сообществам северных рек. Существующая интенсивность движения транспортных средств по действующим переходам, поступление эрозийного материала с нарушенных береговых склонов, осаждение тонкодисперсных частиц на коренные каменистые грунты приводит к трансформации донных биотопов. Выявлены признаки техногенного загрязнения донных отложений водоемов тяжелыми металлами и нефтепродуктами. Отмечена перестройка состава и структуры сообществ гидробионтов, а также снижение продуктивности донных биоценозов относительно их фонового состояния. Выделены параметры, перспективные для организации долгосрочного экологического мониторинга тундровых водных объектов в зоне влияния трассы газопровода в бассейне реки Кары.

**Ключевые слова.** Строительство газопровода, водные объекты, химический состав, донные отложения, водоросли, зообентос, Большеземельская тундра, Полярный Урал.

---

# THE COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF IMPACTS OF INFRASTRUCTURE FOR HYDROCARBON TRANSPORTATION ON WATER ECOSYSTEMS IN THE KARA RIVER BASIN

*E.N. Patova*<sup>1)\*</sup>, *A.S. Stenina*<sup>1)</sup>, *L.N. Tikusheva*<sup>2)</sup>, *O.A. Loskutova*<sup>1)</sup>,  
*M.D. Sivkov*<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Institute of Biology of the Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28, Kommunisticheskaya str., 167982, Syktyvkar, Russia; \**patova@ib.komisc.ru*

<sup>2)</sup> Syktyvkar State University,  
120, Petrozavodskaya str., 167005, Syktyvkar, Russia

**Abstract.** The infrastructure of gas transportation has a significant anthropogenic pressure on the sensitive natural ecosystems of the Arctic regions. We estimated the impact of construction and operation of the «Bovanenkovo-Ukhta» gas pipeline (the section of the «Yamal-Europe» pipeline system) on the water ecosystems of the Polar Urals and the adjacent territories of the Bolshezemelskaya tundra. We analyzed the chemical composition of the surface waters and bottom sediments, studied the structure and species diversity of zoobenthos and algae for unaffected and impacted lakes and water streams in the Basin of Kara River. It was found that water bodies in the places where the gas pipeline infrastructure was present experienced a huge anthropogenic load. Thus, the change in hydrological regime creates a real threat to the sustainable state of the water communities in the northern regions. Transformation of bottom biotopes occurred due to inflows of erosion material from disturbed slopes near the water bodies, the deposition of road dust on typical stony grounds due to the high intensity of traffic on the river crossings. The signs of technogenic pollution by heavy metals and oil products were revealed for the bottom sediments of the water bodies. The change in structure and composition of hydrobiont communities was observed. In addition, we noted a decrease in productivity of the bottom biocoenoses if compared to background state. We selected the promising parameters for long-term ecological monitoring in the tundra water bodies under influence of the pipeline routes in the Kara river basin.

**Keywords.** Gas pipeline construction, water objects, chemical composition, bottom sediments, zoobenthos, algae, Bolshezemelskaya tundra, the Polar Urals.

## Введение

Разведка, добыча и транспортировка углеводородов связана со значительными антропогенными нагрузками на легкоуязвимые и трудно восстанавливаемые природные комплексы Арктики. При строительстве и эксплуатации магистральных газопроводов кроме механического нарушения ландшафтов происходит эмиссия различных загрязняющих веществ (Башкин и др., 2002, 2006; Самсонов и др., 2006). Актуальность комплексного исследования водных объектов в бассейне р. Кара обусловлена тем, что планомерное изучение происхо-

---

дующих изменений в результате деятельности объектов магистрального газопровода «Бованенково-Ухта» не проводится в связи с удаленностью и труднодоступностью данного района. Имеются сведения (Башкин и др., 2002, 2006; Самсонов и др., 2006) о прогнозной оценке воздействия эмиссий трубопровода «Ямал-Европа» с применением методов математического моделирования. По результатам полевых исследований получены первые данные о влиянии объектов газопровода на водные и наземные экосистемы (Патова и др., 2014).

Цель наших исследований – оценить состояние водных экосистем в бассейне реки Кара, расположенных в зоне воздействия трассы газопровода «Бованенково-Ухта», на основе анализа химического состава поверхностных вод, донных отложений и характеристики гидробионтов. На основе этого выделить перспективные показатели для организации мониторинга за состоянием водных экосистем в районе исследований.

### Методы и материалы

В июле 2013 г. обследованы р. Кара, ее притоки Большая Лядгей-Яха, Нярма-Яха, оз. Коматы и термокарстовое оз. № 1 (рис. 1). Отбор гидробиологических проб, воды и донных отложений выполнен в местах пересечения рек газопроводом, проложенным по дну, в непосредственной близости с автомобильной дорогой и мостовыми переходами.

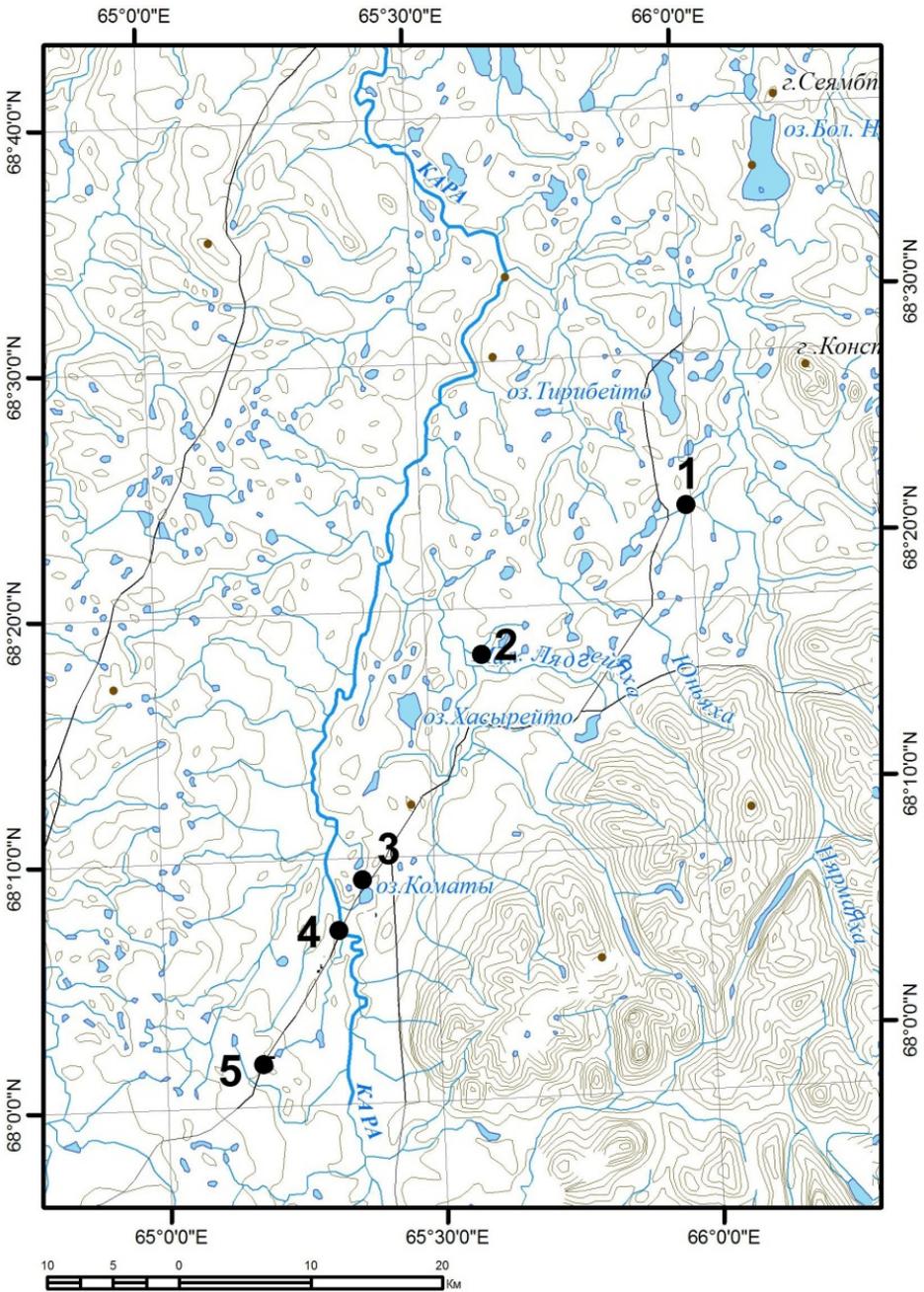
Пробы в реках отобраны в 500 м выше от источников загрязнения на условно чистых участках (фоновая станция 1) и ниже по течению на загрязненных участках (импактная станция 2). В озерах пробы взяты на станциях, наиболее близко расположенных к источникам загрязнения; в качестве фоновых использованы данные, полученные ранее для этого района (Биоразнообразие..., 2007). Оз. Коматы, расположенное в непосредственной близости от газопровода и грунтовой дороги и подверженное пылевому загрязнению, используется оленеводами для лова рыбы. В термокарстовое оз. № 1 рядом с компрессорной станцией осуществляется сброс сточных вод. Донные отложения имеют запах нефти.

Пробы воды отобраны и обработаны общепринятыми способами (Руководство..., 1983; Гидрохимические..., 1999). Индекс сапробности рассчитан на основе диаграмм по Пантле-Букку в модификации Сладечека (Руководство..., 1983). Химический анализ выполнен в аккредитованной лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Для установления степени и характера загрязнения произведена оценка загрязненности донных отложений и воды по коэффициентам донной аккумуляции (КДА), которые рассчитаны по формуле (Приказ..., 2014):

$$\text{КДА} = C_{\text{до}} / C_{\text{вода}},$$

где  $C_{\text{до}}$  – концентрация загрязняющего вещества в донных отложениях, мг кг<sup>-1</sup> или мкг кг<sup>-1</sup>;  $C_{\text{вода}}$  – концентрация вещества в воде, отобранной одновременно в том же створе.



**Рисунок 1.** Карта-схема района исследований

1 – р. Нярма-Яха, 2 – р. Бол. Ляогей-Яха, 3 – оз. Коматы, 4 – р. Кара, 5 – оз. № 1

## Результаты и обсуждение

### *Гидрохимические показатели и донные отложения*

Среди основных факторов воздействия на прилегающие к газопроводу экосистемы рассматриваются пылевые выбросы, выбросы от автотранспорта, механическое нарушение русла рек. Наблюдаемые экологические риски водных экосистем, расположенных вдоль линейных сооружений газопровода, могут быть сведены к косвенным (увеличение рекреационной нагрузки на экосистемы в связи с созданием транспортных путей, загрязнение почвенного покрова, раннее таяние снега, удлинение периода вегетации, риск таяния мерзлоты, увеличение глубины протаивания активного слоя почвы, изменение стока грунтовых вод, изменение структуры и количественного развития донного населения и водорослевых комплексов) и прямым (уменьшение видового разнообразия гидробионтов, исчезновение чувствительных видов, накопление тяжелых металлов и нефтепродуктов водоемах и водотоках, изменение гидрологического режима и русла рек, заиление грунтов водотоков) (Патова и др., 2014).

Анализ показал, что по составу преобладающих ионов исследованные водные объекты бассейна р. Кара относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу, характерному для поверхностных вод континентальных восточноевропейских тундр (Особенности..., 1994; Хохлова, 2002). В периоды наблюдений активная реакция водной среды была равна 5.50-6.68, электропроводность – 78-140 мкС см<sup>-1</sup>. Концентрация HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> колебалась в пределах 32.4-56.4 мг дм<sup>-3</sup>; Cl<sup>-</sup> – < 0.5-0.62 мг дм<sup>-3</sup>; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 3.4-10.4 мг дм<sup>-3</sup>. Содержание катионов Ca<sup>+2</sup> составляло 10.4-15.5 мг дм<sup>-3</sup>; Mg<sup>+2</sup> – 0.9-2.5 мг дм<sup>-3</sup>. Указанные величины находятся в пределах природной нормы для данного района. Органические вещества содержатся в воде в небольшом количестве (цветность = 12-13°), за исключением озер Коматы и № 1 (37 и 34° соответственно). Наибольшие концентрации общего азота отмечены для тех же водоёмов (0.33 и 0.41 мг дм<sup>-3</sup>), в воде остальных его меньше (0.073-0.083 мг дм<sup>-3</sup>). Увеличение концентрации азота является интегральным показателем антропогенной эвтрофикации водоемов (Снакин и др., 1992). Количество неорганического углерода (IC) было на уровне 5.8-9.1 мг дм<sup>-3</sup>, последнее значение отмечено для оз. № 1. Минимальная концентрация органического углерода (DOC) характерна для рек – 0.8-1.2 мг дм<sup>-3</sup>, максимальная – для озер Коматы и № 1 (6.7 и 6.1 мг дм<sup>-3</sup>). Наряду с различиями в гидрологическом режиме это может свидетельствовать об антропогенном эвтрофировании. Загрязненность вод органическими соединениями характеризуется химическим потреблением кислорода: максимум установлен для оз. Коматы (24 мг дм<sup>-3</sup>), в остальных водоёмах – 6.6-7.7 мг дм<sup>-3</sup>, что соответствует природному уровню.

Исследования показали (Тикушева и др., 2015), что основные характеристики: рН, цветность, перманганатная и бихроматная окисляемость, содержание азота, фосфора находятся преимущественно в пределах природной нормы для водоемов Большеземельской тундры (Хохлова, 2002). При этом отмечено загрязнение вод и донных отложений нефтепродуктами, цинком, медью и

---

другими тяжелыми металлами в результате аэротехногенного воздействия объектов инфраструктуры газопровода и смыва поллютантов с загрязненной территории. Выявлено загрязнение нефтепродуктами импактных участков в зоне влияния газопровода: их содержание наибольшее в р. Нярма-Яха (ст. 2) – 0.022, озерах № 1 – 0.014, Коматы – 0.011, р. Бол. Лядгей-Яха (ст. 2) – 0.010, в остальных пробах воды – менее 0.005 мг дм<sup>-3</sup>.

Другими загрязнителями являются цинк и медь. Массовая доля цинка в воде всех исследованных объектов менее 2.5 мкг дм<sup>-3</sup>. В то же время на импактных станциях в донных отложениях р. Кара массовая доля цинка составила 1800 мг кг<sup>-1</sup> и в р. Бол. Лядгей-Яха – 190 мг кг<sup>-1</sup> в отличие от фоновых станций – 34 и 40 мг кг<sup>-1</sup> (табл. 1). Это позволяет сделать вывод о формировании локальных аномалий по его содержанию в зоне воздействия автомобильных дорог. Содержание меди в воде было в диапазоне < 1.0-1.7 мкг дм<sup>-3</sup>, а в донных отложениях отмечено увеличение ее концентрации также в импактных станциях водотоков (табл. 1), что может указывать на образование антропогенной геохимической аномалии. Для водоёмов Большеземельской тундры и более южных районов северо-востока европейской территории России также отмечалось повышенное содержание меди и цинка в воде (Хохлова, 2014; Румянцев и др., 2015). Образуются геохимические аномалии цинка и в почвах вдоль автомобильных дорог (Пшенин, 2003).

В зоне воздействия объектов газопровода отмечены признаки загрязнения ртутью (Тикушева и др., 2015): наибольшие концентрации в донных отложениях в оз. № 1 и на импактной ст. 2 в р. Нярма-Яха (табл. 1), на остальных станциях – на уровне 6-23 мкг кг<sup>-1</sup>. При этом во всех пробах воды содержание ртути было менее 0.010 мкг дм<sup>-3</sup> при ПДК<sub>рыбохоз</sub> 0.0005 мг дм<sup>-3</sup>. Опасность ртути обусловлена токсичными свойствами и очень высокой степенью бионакопления. Ртуть поступает в водные экосистемы в результате выветривания горных пород в теле насыпи дороги, при сжигании ископаемого топлива и технологических утечках природного газа из системы трубопровода, со сточными водами. Интенсивное связывание ртути в воде со взвешенными частицами приводит к повышению концентрации ее в донных отложениях в 10 тысяч раз большей, чем в воде (Петросян, 2007), что соответствует полученным нами данным (табл. 1). Загрязнение Арктики также объясняют процессом истощения атмосферной ртути (Hansen, Gilman, 2005; Poissant et al., 2008; Steffen et al., 2008).

Установлен высокий уровень хронического загрязнения ртутью всех обследованных водных объектов, а рек Нярма-Яха и Бол. Лядгей-Яха на импактных станциях, кроме того, нефтепродуктами (КДА от 1000 до 10000). Исключение – оз. Коматы, для которого КДА ртути указывает на наличие свежего поступления. На этом же уровне (КДА от 90 до 1000) содержание нефтепродуктов в озерах № 1 и Коматы, в р. Нярма-Яха (ст. 1), цинка в реках Нярма-Яха и Бол. Лядгей-Яха (в зоне воздействия дороги), меди в р. Нярма-Яха (ст. 2). Величины КДА до 90, характеризующие обстановку в водном объекте как удовлетворительную с относительно низкими концентрациями загрязняющих веществ в воде и донных отложениях, отмечены для большинства исследованных поллютантов.

**Таблица 1.** Концентрация тяжелых металлов (мкг кг<sup>-1</sup>), нефтепродуктов (мг кг<sup>-1</sup>), ртути (мкг кг<sup>-1</sup>) и коэффициенты донной аккумуляции в водных объектах бассейна р. Кара

	Cu	Pb	Cd	Zn	Ni	Co	Cr	As	Hg	НП
р. Кара, ст. 1 выше моста										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	0.9	<0.010	н/а
д/о	5.1	2.1	0.38	28	14	6.1	13.5	3.9	11	7
КДА	>5.1	>1.05	>1.9	>11.2	>28	>12.2	>27	4.3	>1100	н/а
р. Кара, ст. 2 ниже моста (воздействие дороги)										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	0.9	<0.010	<0.0050
д/о	8.3	1.8	0.6	43	22	9	19	4.8	9	5.8
КДА	>8.3	>0.9	>3	>17.2	>44	>18	>38	5.3	>900	>1160
р. Нярма-Яха, ст. 1 выше моста										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.010	0.022
д/о	8.1	3.5	0.53	34	14	6.7	16	4.7	23	7
КДА	>8.1	>1.75	>2.65	>13.6	>28	>13.4	>32	>9.4	>2300	318.18
р. Нярма-Яха, ст. 2 ниже моста (воздействие дороги)										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	0.67	<0.010	<0.0050
д/о	250	47	0.9	1800	31	10	40	9	52	29
КДА	>250	>23.5	>4.5	>720	>62	>20	>80	13.43	>5200	>5800
р. Большая Лядгей-Яха, ст. 1 выше моста										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	0.67	<0.010	<0.0050
д/о	6.5	2.0	0.46	40	14	6.9	19	3.7	10	5.1
КДА	>6.5	>1	>2.3	>16	>28	>13.8	>38	5.5	>1000	>1020
р. Большая Лядгей-Яха, ст. 2 ниже моста (воздействие дороги)										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	0.59	<0.010	0.010
д/о	19	5.3	0.54	190	16	8	22	4.5	13	14
КДА	>19	>2.65	>2.7	>380	>32	>16	>44	7.63	>1300	1400
оз. Коматы (воздействие дороги)										
Вода	<1.0	<2.0	<0.20	<2.5	0.7	<0.50	<0.50	<0.50	<0.010	0.011
д/о	4.2	1.2	0.21	25	11	5.2	12.5	1.7	6	6.3
КДА	>4.2	>0.6	>1.05	>10	15.7	>10.4	>25	>3.4	>600	572.73
оз. № 1 (воздействие дороги и компрессорной станции)										
Вода	1.7	<2.0	<0.20	<2.5	<0.50	<0.50	<0.50	1.8	<0.010	0.014
д/о	12.0	5.6	1.3	33	21	6.1	16	14	46	27
КДА	7.06	>2.8	>6.5	>13.2	>42	>12.2	>32	7.78	>4600	192.86

**Примечание:** д/о – донные отложения, н/а – не анализировали.

### Зообентос

В местах пересечения рек газопроводами и мостовыми переходами происходит нарушение гидрологического режима водотоков. При возведении опорных структур непосредственно в водном потоке изменяется морфология русла, увеличивается поступление в воду эрозионного материала с берегов, что создает условия для повышенной седиментации. Отложение тонкодисперсных осадков на дно приводит к трансформации естественных биотопов и угнетающе действует на литореофильный бентос рек. Как показали исследования 1999 г. в естественных условиях обитания в русле р. Кара на плесах и перекатах доминировали личинки поденок (*Acentrella lapponica* Bgtss., *Baetis fuscatus* L., *Ecdyonurus joernensis* Bgtss. и др.) и веснянок (*Carnia* juv., *Arcynopteryx compacta* (McL.)); доля двукрылых была менее значительна (табл. 2). Количественные показатели развития бентоса были невысокими, что характерно для рек Полярного Урала (Биоразнообразие..., 2007). После строительства моста в 2013 г. изменился характер течения воды ниже и выше переправы. Выше моста произошел подпор воды, течение замедлилось, галечниковые грунты заилились, обросли водорослями. По сравнению с фоновыми данными более ранних исследований численность и биомасса бентоса на плесовых участках существенно увеличились. В составе зообентоса наиболее многочисленными стали личинки двукрылых (хириномиды), в число доминирующих групп вошли ручейники (масса *Apatania cymatophila* McL., единично – *Annitella obscurata* McL.), а на перекате – мошки (табл. 2). Ниже мостового перехода появились многочисленные искусственные галечниковые острова, через которые пробивались отдельные струи воды с высокой скоростью течения. Здесь, на валунно-галечных грунтах образовавшихся перекатов, доля личинок хирономид уменьшается, в водотоке с возрастанием скорости течения появляются другие амфибиотические насекомые с невысокой численностью – поденки (*A. lapponica*, Heptageniidae juv.), веснянки (*Carnia*), реже – мошки. Доминантами выступают крупные личинки ручейников *Rhyacophila nubila* Zett., *Arctopsyche ladogensis* Kol., молодые личинки *Glossosoma* и *Ceratopsyche*.

Средняя биомасса зообентоса ниже мостов на искусственных перекатах, как правило, уменьшается, на плесах увеличивается. Наиболее показательна численность и биомасса зообентоса уменьшается на реках Бол. Лядгей-Яха и Кара (рис. 2). В р. Бол. Лядгей-Яха выше моста наряду с веснянками и поденками значительную долю в биомассе составили крупные личинки двукрылых Tipulidae (преобладали) и Limoniidae. На р. Нярма-Яха плесовые глубокие участки с замедленным течением расположены как выше, так и ниже моста. Русло реки в районе мостового перехода захлавлено строительным мусором, в донных отложениях отмечено повышенное содержание тяжелых металлов. На импактном участке этой реки установлены наиболее низкие показатели развития зообентоса (рис. 2). Произошло изменение структуры донных сообществ, однако видовой состав амфибиотических насекомых не отличался от фоновых 1999 г.: среди поденок доминировал *A. lapponica*, менее обилен был

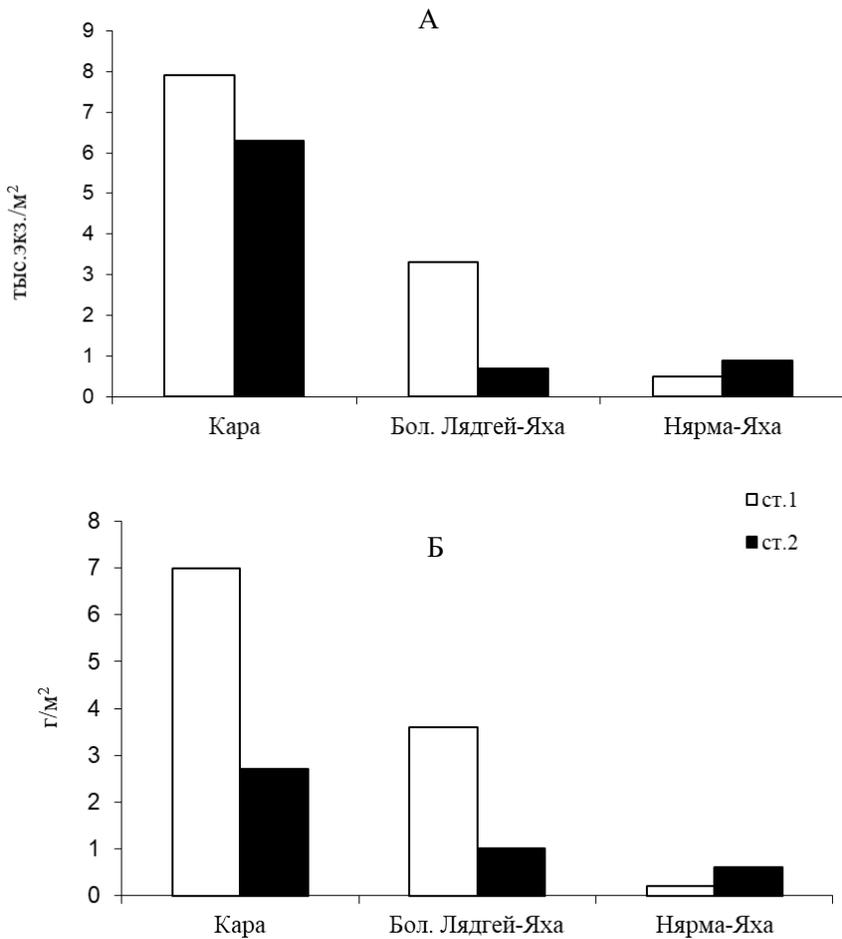
*B. fuscatus*; среди веснянок многочисленны личинки рода *Carpnia*, *Arcynopteryx* juv.; ручейники представлены *A. crymophila* и *Rhyacophila* juv.

Таблица 2. Бентос водных объектов бассейна р. Кара до и после строительства гидросооружений

Дата исследований	Экотоп	Численность, тыс.экз.м <sup>-2</sup>	Биомасса, г м <sup>-2</sup>	Доминанты и субдоминанты, %	
				по численности	по биомассе
Река Кара					
Фоновое состояние 15.08.1999	плес	2.3	0.9	Plecoptera – 32 Chironomidae – 32 Ephemeroptera – 23	Ephemeroptera – 63 Plecoptera – 18
	перекат	4.9	3.9	Ephemeroptera – 49 Plecoptera – 28 Chironomidae – 13	Plecoptera – 70 Simuliidae – 20
После строительства моста 26.07.2013	плес	7.9	7.0	Chironomidae – 58 Trichoptera – 13	Trichoptera – 69 Chironomidae – 19
	перекат	6.3	2.7	Chironomidae – 37 Simuliidae – 43	Trichoptera – 37 Simuliidae – 19 Ephemeroptera – 18
Озеро Коматы					
Фоновое состояние 18.08.2003	литораль	23.8	61.0	Copepoda – 36 Cladocera – 18 Chironomidae – 15 Oligochaeta – 12	Mollusca – 88
После строительства моста 26.07.2013	литораль	20.9	2.8	Copepoda – 52 Cladocera – 21 Chironomidae – 14 Nematoda – 12	Mollusca – 60 Chironomidae – 21

Таким образом, русловые преобразования создают реальную угрозу первозданным водным сообществам северных рек, приводят к нарушению структуры и количественного развития донных биоценозов относительно их фонового состояния.

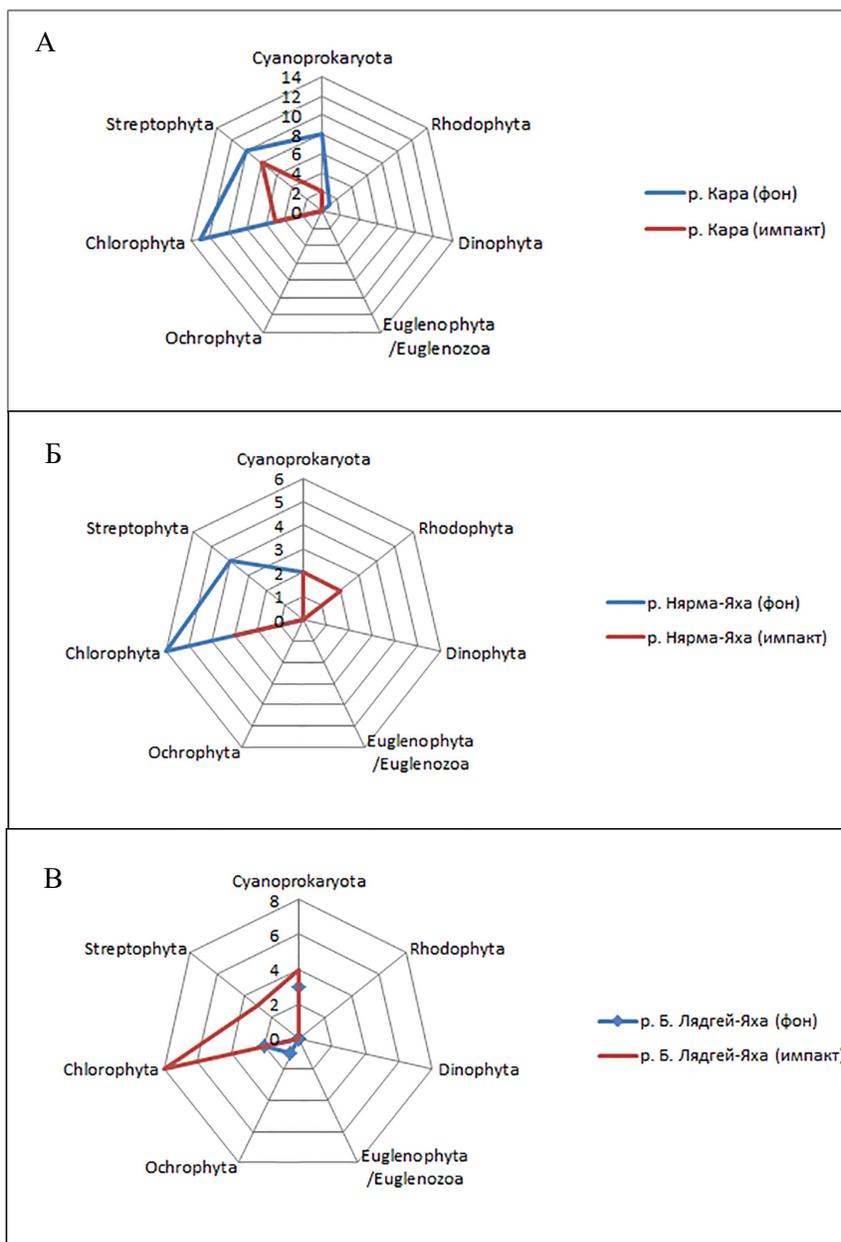
Исследования зообентоса оз. Коматы, расположенного в непосредственной близости к автомобильной дороге и мосту через р. Кара, также показали, что резко изменились численность и биомасса ряда групп гидробионтов, в большей степени это коснулось моллюсков. Если в 2003 г. численность и биомасса моллюсков были равны 1.7 тыс.экз.м<sup>-2</sup> и 53.4 г м<sup>-2</sup> (преобладали брюхоногие моллюски *Anisus albus* Müll., *Lymnaea ovata* Drap., *Cincinna frigida* West.), то в 2013 г. эти показатели составили соответственно 0.05 тыс. экз. м<sup>-2</sup> и 1.7 г м<sup>-2</sup>. За счет сокращения более чем в 30 раз биомассы моллюсков произошло снижение общей биомассы бентоса с 61 до 2.8 г м<sup>-1</sup>, не сопровождающееся, однако, пропорциональным снижением численности (табл. 2).



**Рисунок 2.** Изменение численности (А) и биомассы (Б) зообентоса выше и ниже мостовых переправ

### *Водоросли*

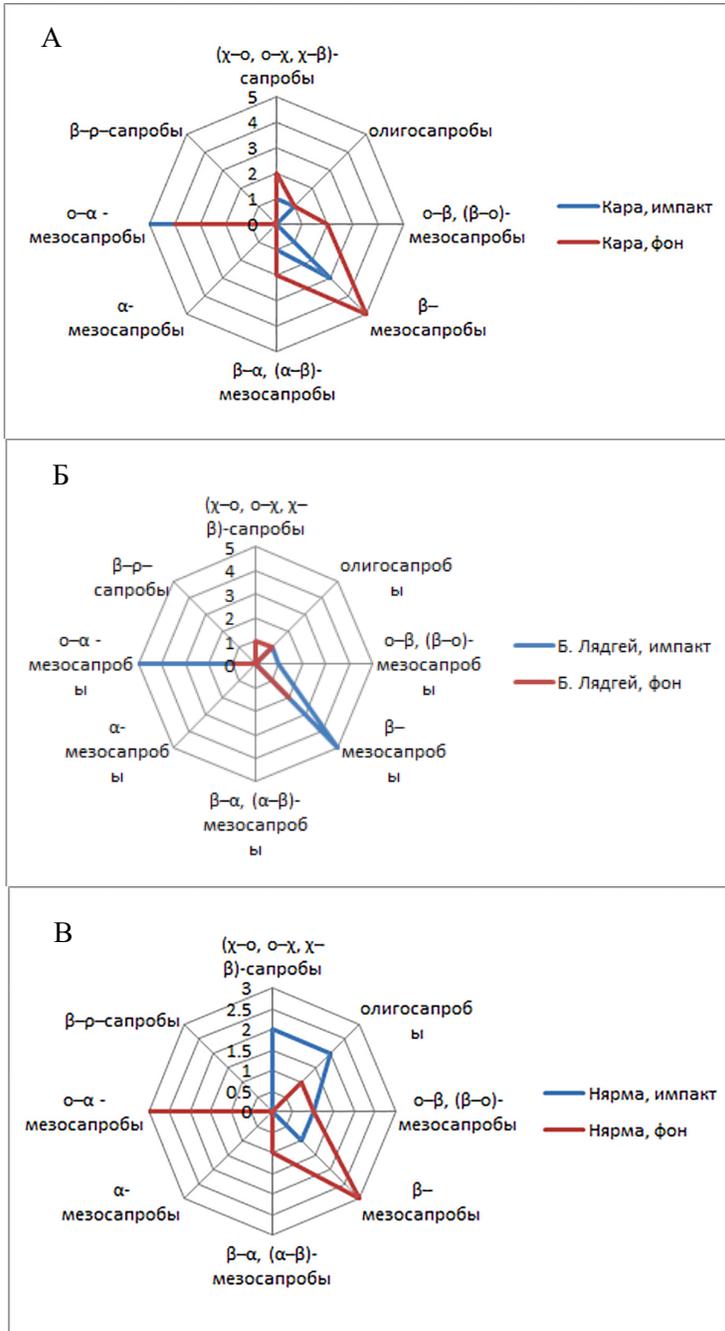
В условиях воздействия объектов магистрального газопровода наблюдается трансформация водорослевых сообществ. В р. Кара на импактном участке относительно фонового (рис. 3) сокращается видовое разнообразие, значительно уменьшается доля Cyanoprokaryota и Chlorophyta, исчезают из спектра Rhodophyta, лидирующую роль по числу видов занимают представители отдела Streptophyta. В р. Нярма-Яха, напротив, на загрязненном участке появляются виды из отдела Rhodophyta, исчезают Streptophyta, сокращается общее видовое разнообразие, при этом вдвое – число видов из отдела Chlorophyta. В р. Бол. Лядгей-Яха (рис. 3) разнообразие водорослей в зоне загрязнения увеличилось в основном за счет зеленых. Вместе с этим, структурные изменения альгоценоза импактного участка р. Бол. Лядгей-Яха также проявились в исчезновении из спектра представителей отдела Ochrophyta.



**Рисунок 3.** Таксономическая структура альгофлор исследованных водотоков

Произошло снижение разнообразия и доли индикаторов чистых вод в исследованных озерах и на импактных участках всех рек (рис. 4). В р. Кара (рис. 4, А) на загрязненном участке при сохранении ведущей роли  $\beta$ -мезосапробов увеличивается участие  $\alpha$ -мезосапробов, уменьшается  $\chi$ - $\alpha$ -,  $\alpha$ - $\chi$ -,  $\chi$ - $\beta$ -мезосапробов, исчезают  $\alpha$ - $\beta$ -,  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапробы, что указывает на повышение уровня сапробности водотока. В р. Бол. Лядгей-Яха (импактная зона) увеличивается участие  $\alpha$ - $\alpha$ - и  $\beta$ -мезосапробов, появляются экологически пла-

стичные виды –  $\alpha$ - $\beta$ -,  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапробы, не отмеченные на фоновом участке (рис. 4, Б). Существенно отличается экологическая структура водорослевого сообщества р. Нярма-Яха в импактной зоне относительно фонового участка (рис. 4, В). Исчезают  $\alpha$ - $\alpha$ -мезосапробы,  $\beta$ - $\alpha$ -,  $\alpha$ - $\beta$ -мезосапробы и появляются  $\chi$ - $\alpha$ -,  $\alpha$ - $\chi$ -,  $\chi$ - $\beta$ -мезосапробы, увеличивается доля олигосапробов при снижении участия  $\beta$ -мезосапробов. Изменяется и соотношение трофических групп.



**Рисунок 4.** Экологическая структура альгофлор по индикаторам сапробности в исследованных реках

Сравнительный анализ водорослевых комплексов в водоемах, подверженных воздействию газопровода, с фоновыми озерами (Тикушева и др., 2015), проведенный для небольшого термокарстового оз. № 1 и достаточно крупного оз. Коматы показывает, что в условиях загрязнения происходит изменение структуры альгоценозов. В водоёмах происходит выпадение экологически специализированных видов из отдела Streptophyta, представителей родов *Closterium*, *Cosmarium*, *Staurastrum*. Аналогичные изменения структуры альгоценозов в антропогенно измененных условиях – сохранение видов широкого экологического и географического диапазона с утратой малотолерантных видов – отмечают и другие авторы (Моисеенко, 2009; Моисеенко, Шаров, 2010; Анциферова, 2013). Другим проявлением значительного и постоянного воздействия объектов инфраструктуры магистрального газопровода является развитие в водорослевых сообществах видов из отдела Euglenophyta/Euglenozoa (в оз. Коматы), не характерных для чистых водоемов Большеземельской тундры и Полярного Урала. Видовой состав водорослей этого водоема отличается от всех остальных наличием данного компонента альгоценоза.

Наиболее индикаторной группой являются диатомовые водоросли, которые широко применяются в мониторинге различных видов воздействия на природную среду (Round, 1991; Potapova, Charls, 2007). Их состав определяли в обрастаниях каменистых субстратов исследованных рек. Сообщества водорослей на разных участках рек отличались. Анализ видового разнообразия диатомовых водорослей эпилимнтона показал, что оно изменяется под влиянием нарушения экосистем. Видовое богатство диатомовых выше на фоновых участках рек Кара и Нярма-Яха по сравнению с участками ниже мостов (рис. 5). На импактных станциях оно снижается, что свидетельствует об угнетающем влиянии загрязнения водной среды. Это особенно видно на примере р. Кары и особенно р. Нярма-Яха. При умеренном загрязнении разнообразие диатомовых может оставаться на том же уровне, как это установлено для эпилимнтона р. Бол. Лядгей-Яха.

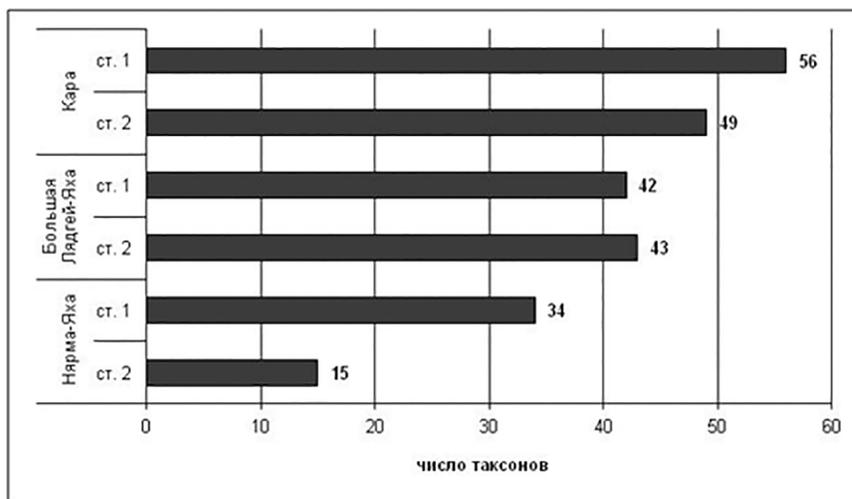
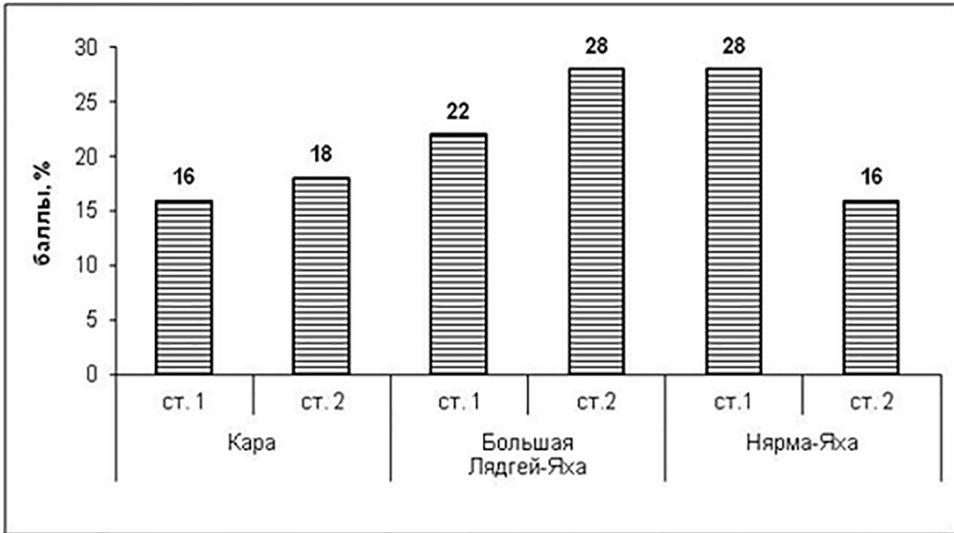


Рисунок 5. Изменение разнообразия диатомовых водорослей на станциях исследованных рек

Структура сообществ диатомовых водорослей также претерпевает трансформацию. Суммарное обилие совокупности типичных донных видов из семейств Naviculaceae и Bacillariaceae на импактных станциях рек увеличивается (рис. 6), этому способствует заиливание участков рек в зонах нарушения экосистем водотоков. Исключение составляет р. Нярма-Яха, где произошла существенная деградация разнообразия всех таксономических групп диатомовых водорослей под влиянием загрязняющих веществ.



**Рисунок 6.** Суммарное обилие представителей семейств Naviculaceae + Bacillariaceae (%) в реках

Изменяется и участие в эпилимне видов-показателей трофических условий в водотоках. На импактных участках рек снижается значение диатомей-индикаторов олиготрофных (О) и дистрофных (Д) вод в сообществах, а роль индикаторов мезотрофных (М) и эвтрофных (Э) вод повышается. Это видно при анализе соотношения этих групп (рис. 7). На импактных станциях рек (кроме Нярма-Яха) количество видов-индикаторов мезотрофных и эвтрофных условий по отношению к видам-индикаторам дистрофных и олиготрофных вод значительно возрастает, особенно на импактной станции р. Кара.

Это свидетельствует о повышении уровня эвтрофирования при возрастании нагрузки на водотоки поступающими в реки загрязняющими веществами и биогенными соединениями. Значительно возрастает обилие таких видов, как *Cocconeis pediculus* Ehr., *Nitzschia acicularis* (Kütz.) W. Sm., *N. palea* (Kütz.) W. Sm. Подобные изменения соотношения видов-индикаторов трофических условий наблюдаются также среди других групп водорослей и зообентоса. На импактных участках возрастает также доля широко приспособленных видов, обитающих как в олиготрофных, так и в эвтрофных условиях.

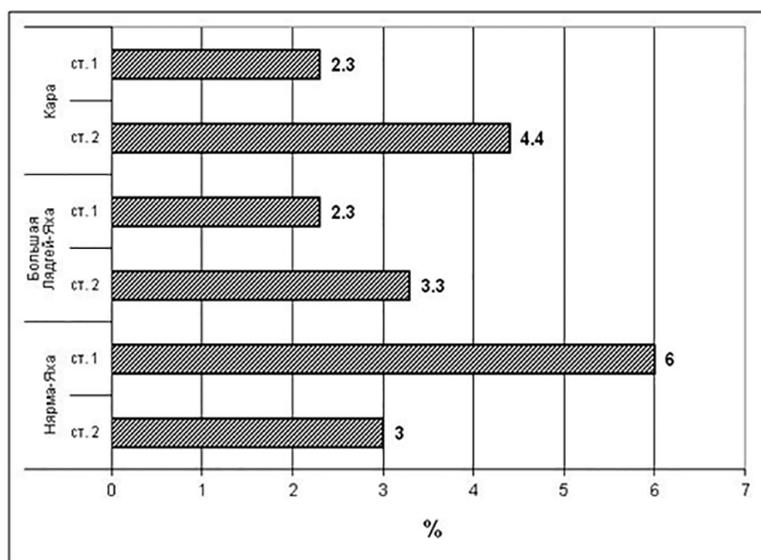


Рисунок 7. Пропорции диатомей-индикаторов: М+Э / О+Д на станциях рек

Доминирующий комплекс диатомовых водорослей включает в р. Кара *Melosira varians* C. Ag. и виды из родов *Fragilaria*, *Cocconeis*, *Ulnaria*, оптимальными условиями для которых являются слабощелочная среда и повышенная концентрация нестойких органических веществ. Характерные виды эпилитона р. Бол. Лядгей-Яха – *Encyonema minutum* (Hilse) Mann и *Fragilaria vaucheriae* (Kütz.) Peters. также предпочитают повышенное содержание органических веществ. В р. Нярма-Яха отмечена существенная обедненность видового состава диатомовых и доминирование *Nitzschia palea* – индикатора загрязненных вод (Fore, Grafe, 2002). Угнетающими альгофлору факторами являются кроме запыленности также тяжелые металлы и мышьяк, содержание которых на импактных станциях, особенно в р. Нярма-Яха, повышено.

Анализ сапробиологических групп выявил снижение разнообразия и доли диатомовых-индикаторов чистых вод на импактных участках всех рек. В то же время в некоторых реках, особенно в р. Кара, увеличилась доля индикаторов слабого и сильного загрязнения воды легко окисляемыми органическими веществами. Индексы сапробности, рассчитанные по диатомовым водорослям, изменяются от 1.85 до 2.03, что позволяет охарактеризовать реки как умеренно загрязненные и отнести их воды к III классу качества (Руководство..., 1983).

При усилении стрессовых условий элиминируют или снижают численность редкие виды, увеличивается обилие некоторых общих видов, несколько оппортунистических видов становятся доминантами (происходит снижение видового разнообразия и увеличение видовой доминантности), в дополнение – тренд в направлении мелкоразмерных видов. Черты сукцессий водных экосистем крупных озер в условиях токсичного загрязнения имеют общий характер и согласуются с закономерностями типичных изменений в экосистемах под воздействием любых стрессовых условий.

## Заключение

Исследованные реки и озера в зоне влияния газопровода в основном сохраняют природные особенности водной среды, однако донные отложения испытывают техногенное загрязнение. Наблюдается существенное увеличение концентрации цинка и меди в донных отложениях на импактных станциях рек Кара, Нярма-Яха, Бол. Лядгей-Яха. Можно говорить о формировании геохимических аномалий антропогенного происхождения этих элементов, что подтверждает прогнозы, выполненные на основе экологического моделирования (Казак, Самсонов, 2006). Наибольшие значения коэффициента донной аккумуляции отмечены для ртути и нефтепродуктов. Наряду с химическим загрязнением происходит нарушение гидрологического режима водотоков. Важными показателями изменений водных экосистем являются снижение видового богатства и трансформация таксономического разнообразия гидробионтов. Под влиянием антропогенных факторов происходит увеличение обилия групп индикаторных организмов зообентоса и альгофлоры, указывающих на заиление грунтов и возрастание трофического статуса водоемов. Отмечено снижение числа видов экологически специализированных чистым проточным водам. В дальнейшем необходимо продолжение комплексного мониторинга водных экосистем в районе техногенного и антропогенного воздействия магистрального газопровода «Ямал-Европа».

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Программы УрО РАН "АРКТИКА" проект № 15-15-4-36.*

## Список литературы

Анциферова Г.А. 2013. Особенности вегетационных сукцессий низших водорослей в условиях аномально высоких летних температур 2010-2012 годов (бассейн Среднего Дона). – Вестник ВГУ, серия: География, Геоэкология, № 2, с. 107-112.

Башкин В.Н., Казак А.С., Сафонов В.С. 2006. Оценка экологического риска в зоне воздействия магистрального газопровода Ямал-Центр. – В кн.: Охрана окружающей среды в нефтегазовом комплексе, вып. 3, с. 9-14.

Башкин В.Н., Казак А.С., Снакин В.В., Припутина И.В., Хрисанов В.Р., Кочуров Б.А. 2002. Устойчивость экосистем к эмиссиям магистральных газопроводов. – Москва-Смоленск, Универсум, 232 с.

Биоразнообразие экосистем Полярного Урала. 2007. /Отв. ред. М.В. Гецен. – Сыктывкар, Коми науч. центр, 252 с.

Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: Справочные материалы. 1999. – М., ВНИРО, 304 с.

Казак А.С., Самсонов Р.О. 2007. Решение задач системного анализа для минимизации геоэкологических рисков на сложных магистральных газопроводах. – Нефтегазовое дело, 10 с. – Электронный ресурс. URL: <http://www.ogbus.ru> (дата обращения 12 декабря 2014).

Моисеенко Т.И. 2009. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. – М., Наука, 400 с.

Моисеенко Т.И., Шаров А.Н. 2010. Трансформация водных экосистем больших озер при изменении антропогенной нагрузки. – Вестник Тюменского гос. унив., № 7, с. 51-57.

Приказ Минприроды России № 112 от 24.02.2014. – Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, № 39 от 29.09.2014.

Особенности структуры экосистем озер Крайнего Севера (на примере озер Большеземельской тундры). 1994. – СПб., Наука, 260 с.

Патова Е.Н., Кулюгина Е.Е., Елсаков В.В., Стенина А.С., Лоскутова О.А., Сивков М.Д., Тикушева Л.Н. 2014. Влияние строительства газопровода «Бованенково-Ухта» на прилегающие экосистемы Большеземельской тундры и Полярного Урала. – В кн.: Освоение Севера и проблемы природовосстановления. – Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, с. 68-75.

Петросян В.С. 2007. Глобальное загрязнение окружающей среды ртутью и ее соединениями. В кн.: Россия в окружающем мире: 2006 (аналитический ежегодник). – М., Изд-во МНЭПУ, Авант, с. 149-163.

Пшенин В.Н. 2003. Актуальные вопросы оценки загрязнения почвенного покрова вблизи автомагистралей. – В кн.: Экологизация автомобильного транспорта. – СПб., МАНЭБ, с. 83-88.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. 1983. /Под ред. В.А. Абакумова. – Л., Гидрометеиздат, 239 с.

Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. 2015. Озера европейской части России. – СПб., Изд-во Лема, 392 с.

Самсонов Р.О., Башкин В.Н., Казак А.С., Горлов Д.В., Припутина И.В. 2006. Оценка экологического риска в зонах воздействия магистральных газопроводов. Проблемы анализа риска. – Электронный ресурс. URL: [http://www.dex.ru/riskjournal.2006\\_3\\_3/238-249.pdf](http://www.dex.ru/riskjournal.2006_3_3/238-249.pdf) (дата обращения 20 января 2015).

Снакин В.В., Мельниченко В.Е., Бутовский Р.О., Воронцова Л.И., Васильева Н.П., Ресин А.Л., Алябина И.О., Баринаева С.С., Ербанова Л.Н., Кочетова Н.И., Кречетов П.П., Ломакина Г.А., Моргун Л.В., Головина М.В., Барабанова Г.С. 1992. Оценка состояния и устойчивости экосистем. – М., ВНИИприрода, 127 с.

Тикушева Л.Н., Патова Е.Н., Стенина А.С. 2015. Изменение водных экосистем под влиянием строительства и эксплуатации газопровода «Бованенково-Ухта» (бассейн реки Кара, Полярный Урал и Большеземельская тундра). – Известия Коми научного центра УрО РАН, вып. 2(22), с. 25-30.

Хохлова Л.Г. 2002. Гидрохимическая изученность поверхностных вод Большеземельской тундры. – В кн.: Возобновимые ресурсы водоемов Большеземельской тундры. – Сыктывкар, Коми Научный центр УрО РАН, с. 5-14.

---

---

Хохлова Л.Г. 2014. Ретроспективный анализ химического состава воды озера Большеземельской (Большой Харбей и Головка). – Известия Коми научного центра УрО РАН, вып. 1(17), с. 19-26.

Fore L.S., Grafe C. 2002. Using diatoms to assess the biological condition of large rivers in Idaho (U.S.A.). – *Freshwater Biology*, vol. 47, pp. 2015-2037.

Hansen J.C., Gilman A.P. 2005. Exposure of Arctic Populations to Methylmercury from Consumption of Marine Food: An Updated Risk-Benefit Assessment. – *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 64(2), pp. 121-136.

Poissant L., Zhang H.H., Canário J., Constant P. 2008. Critical Review of Mercury Fates and Contamination in the Arctic Tundra Ecosystem. – *Science of the Total Environment*, vol. 400, pp. 173-211.

Potapova M., Charles D.F. 2007. Diatom metrics for monitoring eutrophication in rivers of the United States. – *Ecological Indicators*, vol. 7, pp. 48-70.

Round F.E. 1991. Diatoms in river water-monitoring studies. – *Journal of Applied Phycology*, vol. 3, pp. 129-145.

Steffen A., Douglas T., Amyot M., Ariya P., Aspmo K., Berg T., Bottenheim J., Brooks S., Cobbett F., Dastoor A., Dommergue A., Ebinghaus R., Ferrari C., Gardfeldt K., Goodsite M.E., Lean D., Poulain A.J., Scherz C., Skov H., Sommar J., Temme C. 2008. A Synthesis of Atmospheric Mercury Depletion Event Chemistry in the Atmosphere and Snow. – *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 8, pp. 1445-1482. – Available at: <http://www.atmos-chem-phys.org> (accessed 20 January 2015).

## References

Anciferova G.A. 2013. Osobennosti vegetacionnyh sukcesij nizshih vodoroslej v usloviyah anomal'no vysokih letnih temperatur 2010-2012 godov (bassejn Srednego Dona) [Features of vegetative successions of inferior algae in conditions of anomalously high summer temperatures of 2010-2012 (the Middle Don basin)]. *Vestnik VGU, seriya: Geografiya. Geoekologiya – Bulletin of Voronezh State University, series: Geography, Geoecology*, no. 2, pp. 107-112.

Bashkin V.N., Kazak A.S., Safonov V.S. 2006. Ocenka ehkologicheskogo riska v zone vozdeystviya magistral'nogo gazoprovoda YAmal-Centr [Assessment of environmental risk in the impact zone of the Yamal-Center gas main]. *Ohrana okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental Protection in the Oil and Gas Complex], issue 3, pp. 9-14.

Bashkin V.N., Kazak A.S., Snakin V.V., Pripulina I.V., Hrisanov V.R., Kochurov B.A. 2002. *Ustojchivost' ehkosistem k ehmissiyam magistral'nyh gazoprovodov* [Sustainability of ecosystems to emissions of main gas pipelines]. Moscow-Smolensk, Universum Publ., 232 p.

*Bioraznoobrazie ehkosistem Polyarnogo Urala* [Biodiversity of ecosystems of the Polar Urals]. 2007. Syktyvkar, Komi Science Center Publ., 252 p.

---

*Gidrohimicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchej sredy: Spravochnye materialy* [Hydrochemical indicators of the state of the environment: Reference materials]. 1999. Moscow, VNIRO Publ., 304 p.

Kazak A.S., Samsonov R.O. 2007. Reshenie zadach sistemnogo analiza dlya minimizatsii geohkologicheskikh riskov na slozhnykh magistral'nykh gazoprovodakh [Solving the problems of system analysis for minimizing geoeological risks on complex gas mains]. *Neftegazovoe delo – Oil and gas business*, 10 p. Available at: <http://www.ogbus.ru> (accessed 12 December 2014).

Moiseenko T.I. 2009. *Vodnaya ehkotoxikologiya: Teoreticheskie i prikladnye aspekty* [Water Ecotoxicology: Theoretical and Applied Aspects]. Moscow, Science, 400 p.

Moiseenko T.I., Sharov A.N. 2010. Transformatsiya vodnykh ehkosistem bol'shikh ozer pri izmenenii antropogennoj nagruzki [Transformation of aquatic ecosystems of large lakes when anthropogenic load changes]. *Vestnik Tyumenskogo gos. univ. – Bulletin of the Tyumen State University*, no. 7, pp. 51-57.

Prikaz Minprirody Rossii № 112 ot 24.02.2014 [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia No. 112 of February 24, 2014]. *Byulleten' normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noj vlasti* [Bulletin of normative acts of federal executive bodies], no. 39 of 29.09.2014.

*Osobennosti struktury ehkosistem ozer Krajnego Severa (na primere ozer Bol'shezemel'skoj tundry)* [Features of the structure of the ecosystems of the Lakes of the Far North (on the example of the Bolshezemel'skaya tundra lakes)]. 1994. St. Petersburg, Science, 260 p.

Patova E.N., Kulyugina E.E., Elsakov V.V., Stenina A.S., Loskutova O.A., Sivkov M.D., Tikusheva L.N. 2014. Vliyanie stroitel'stva gazoprovoda «Bovarenkovo-Uhta» na prilgayushchie ehkosistemy Bol'shezemel'skoj tundry i Polyarnogo Urala [Influence of the construction of the Bovarenkovo-Ukhta gas pipeline on the adjacent ecosystems of the Bolshezemel'skaya tundra and the Polar Urals]. *Osvoenie Severa i problemy prirodovosstanovleniya* [The Development of the North and the Problems of Natural Restoration]. Syktyvkar, Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, pp. 68-75.

Petrosyan V.S. 2007. Global'noe zagryaznenie okruzhayushchej sredy rtut'yu i ee soedineniyami [Global pollution of the environment with mercury and its compounds]. *Rossiya v okruzhayushchem mire: 2006 (analiticheskij ezhegodnik)* [Russia in the World: 2006 (analytical yearbook)]. Moscow, MNEPU Publishing House, Avant, pp. 149-163.

Pshenin V.N. 2003. Aktual'nye voprosy ocenki zagryazneniya pochvennogo pokrova vblizi avtomagistralej [Topical issues of assessment of soil cover contamination near highways]. *Ekologizatsiya avtomobil'nogo transporta* [Ecologization of motor transport]. St. Petersburg, MANEB Publ., pp. 83-88.

*Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverhnostnykh vod i donnykh otlozhenij* [Guidance on methods for the hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments]. 1983. Leningrad, Gidrometeoizdat, 239 p.

---

---

Rumyancev V.A., Drabkova V.G., Izmajlova A.V. 2015. *Ozera evropejskoj chasti Rossii* [Lakes of the European part of Russia]. St. Petersburg, Publishing house of Lem, 392 p.

Samsonov R.O., Bashkin V.N., Kazak A.S., Gorlov D.V., Pripulina I.V. 2006. *Ocenka ehkologicheskogo riska v zonah vozdejstviya magistral'nyh gazoprovodov. Problemy analiza riska* [Assessment of environmental risk in areas affected by main gas pipelines. Problems of risk analysis]. Available at: [http://www.dex.ru/riskjournal.2006\\_3\\_3/238-249.pdf](http://www.dex.ru/riskjournal.2006_3_3/238-249.pdf) (accessed 20 January 2015).

Snakin V.V., Mel'nichenko V.E., Butovskij R.O., Voroncova L.I., Vasil'eva N.P., Resin A.L., Alyabina I.O., Barinova S.S., Erbanova L.N., Kochetova N.I., Krechetov P.P., Lomakina G.A., Morgun L.V., Golovina M.V., Barabanova G.S. 1992. *Ocenka sostoyaniya i ustojchivosti ehkosistem* [Assessment of the state and stability of ecosystems]. Moscow, All-Russian Research Institute of Nature, 127 p.

Tikusheva L.N., Patova E.N., Stenina A.S. 2015. *Izmenenie vodnyh ehkosistem pod vliyaniem stroitel'stva i ehkspluatatsii gazoprovoda «Bovanenkovo-Uhta» (bassejn reki Kara, Polyarnyj Ural i Bol'shezemel'skaya tundra)* [Changes in aquatic ecosystems under the influence of the construction and operation of the Bovanenkovo-Ukhta gas pipeline (the Kara river basin, the Polar Urals and the Bolshezemelskaya tundra)]. *Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN – Izvestiya Komi of the Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, issue 2(22), pp. 25-30.

Hohlova L.G. 2002. *Gidrohimicheskaya izuchennost' poverhnostnyh vod Bol'shezemel'skoj tundry* [Hydrochemical study of surface waters of the Bolshezemelskaya tundra]. *Vozobnovimye resursy vodoemov Bol'shezemel'skoj tundry* [Renewable Resources of the Reservoirs of the Bolshezemelskaya Tundra]. Syktyvkar, Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, pp. 5-14.

Hohlova L.G. 2014. *Retrospektivnyj analiz himicheskogo sostava vody ozer Bol'shezemel'skoj (Bol'shoj Harbey i Golovka)* [A retrospective analysis of the chemical composition of the waters of Bolshezemelskaya Lakes (Bolshaya Harbey and Golovka)]. *Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN – Izvestiya Komi of the Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, issue 1(17), pp. 19-26.

Fore L.S., Grafe C. 2002. Using diatoms to assess the biological condition of large rivers in Idaho (U.S.A.). – *Freshwater Biology*, vol. 47, pp. 2015-2037.

Hansen J.C., Gilman A.P. 2005. Exposure of Arctic Populations to Methylmercury from Consumption of Marine Food: An Updated Risk-Benefit Assessment. – *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 64(2), pp. 121-136.

Poissant L., Zhang H.H., Canário J., Constant P. 2008. Critical Review of Mercury Fates and Contamination in the Arctic Tundra Ecosystem. – *Science of the Total Environment*, vol. 400, pp. 173-211.

Potapova M., Charles D.F. 2007. Diatom metrics for monitoring eutrophication in rivers of the United States. – *Ecological Indicators*, vol. 7, pp. 48-70.

---

Round F.E. 1991. Diatoms in river water-monitoring studies. – *Journal of Applied Phycology*, vol. 3, pp. 129-145.

Steffen A., Douglas T., Amyot M., Ariya P., Aspino K., Berg T., Bottenheim J., Brooks S., Cobbett F., Dastoor A., Dommergue A., Ebinghaus R., Ferrari C., Gardfeldt K., Goodsite M.E., Lean D., Poulain A.J., Scherz C., Skov H., Sommar J., Temme C. 2008. A Synthesis of Atmospheric Mercury Depletion Event Chemistry in the Atmosphere and Snow. – *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 8, pp. 1445-1482. – Available at: [http:// www.atmos-chem-phys.org](http://www.atmos-chem-phys.org) (accessed 20 January 2015).

Статья поступила в редакцию: 06.07.2017 г.

После переработки: 25.05.2017 г.