

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
“Карельский научный центр Российской академии наук”  
Институт водных проблем Севера**

**Возможность применения микробиологической оценки  
состояния притоков Онежского озера  
с высокой цветностью воды**

*Макарова Е.М.  
Лаборатория гидробиологии*

VII Международная конференция молодых ученых  
«Водные ресурсы: изучение и управление»  
4-8 сентября 2023 г.  
г. Петрозаводск

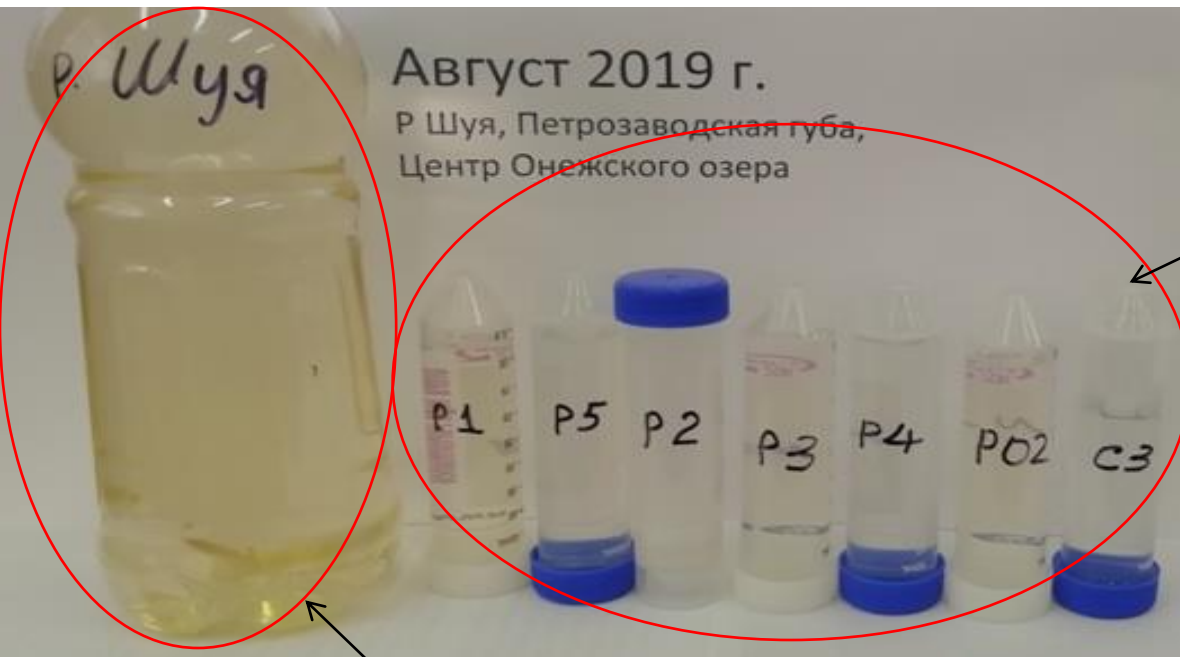
# Введение

- Водных объектов в РК – 87.8 тыс.\*
- Общее число рек – 26.7 тыс.  
Малых рек – 95 % от общего их числа
- Притоки Онежского озера – 6 765 рек



# Актуальность

## Природные особенности карельских рек



Вода Онежского озера



Вода р. Шуи – одного из крупных притоков Онежского озера

Воды рек г. Петрозаводска



# *Актуальность*

- Бактерии – играют главную роль в геохимических циклах
- Речные экосистемы характеризуются доминированием бактериального звена в планктонном сообществе \*
- Карельский гидрографический регион характеризуется особым качеством вод (повышенная цветность, содержание общего железа)\*\*
- Возможность применения общепринятых классификаций качества вод

*\*Копылов и др., 2004;*

*\*\* Лозовик, 2006*

# *Цель*

оценить возможность применения общепринятых классификаторов качества вод по микробиологическим показателям в условиях карельского гидрографического региона

# Материал и методы исследования

Период исследований:

- 2014 – 2015 г.
- Сезонные съемки на реках г. Петрозаводска
- Съемки раз в сезон на реках северного, юго-западного, северо-западного побережьях

Исследуемые притоки Онежского озера:

Северные притоки:

1. Вичка

2. Кумса

Северо-западный приток:

3. Лижма

Юго –западные притоки:

4. Неглинка

5. Лососинка

6. Нелукса

7. Орзегга

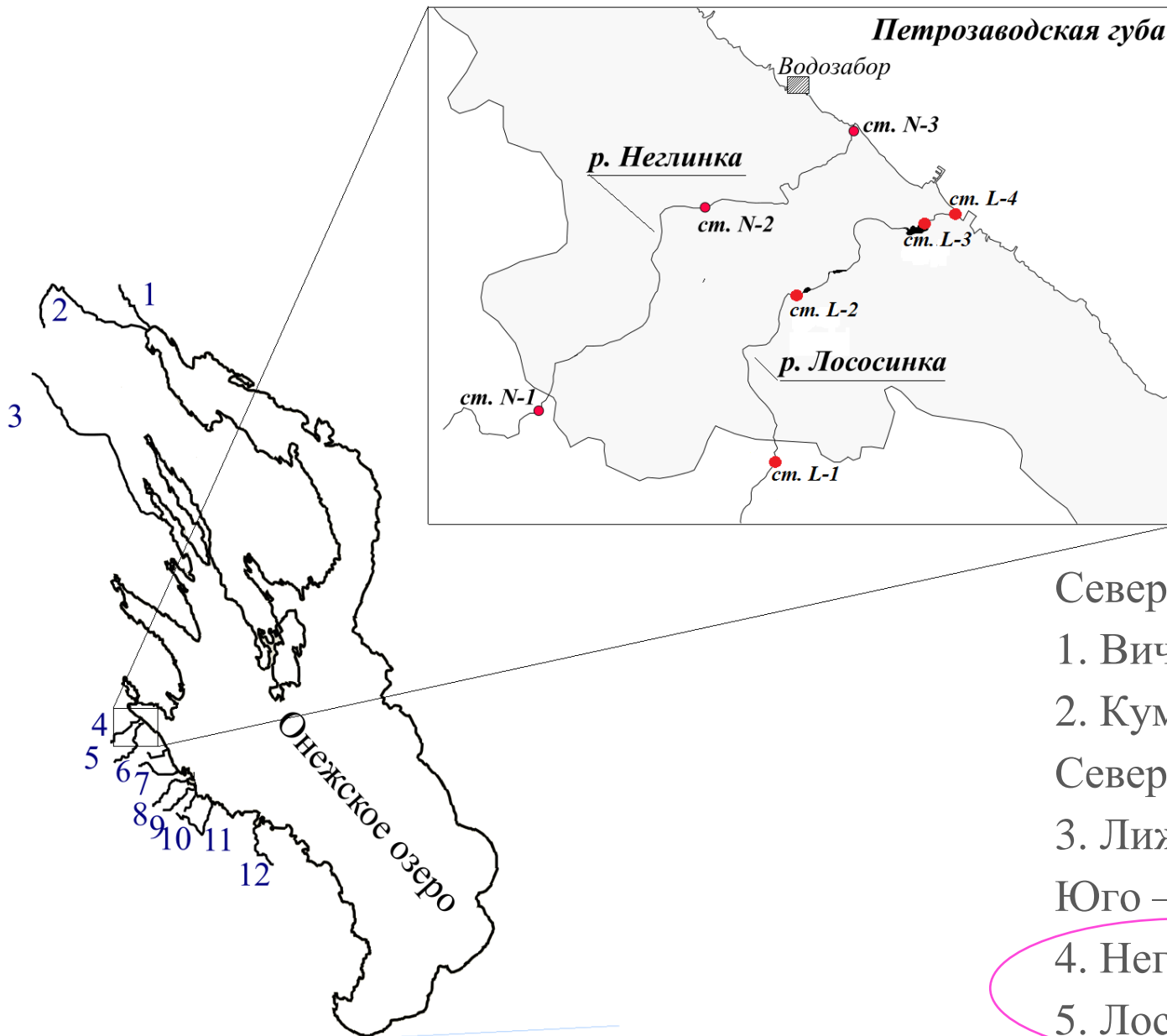
8. Деревянка

9. Уя

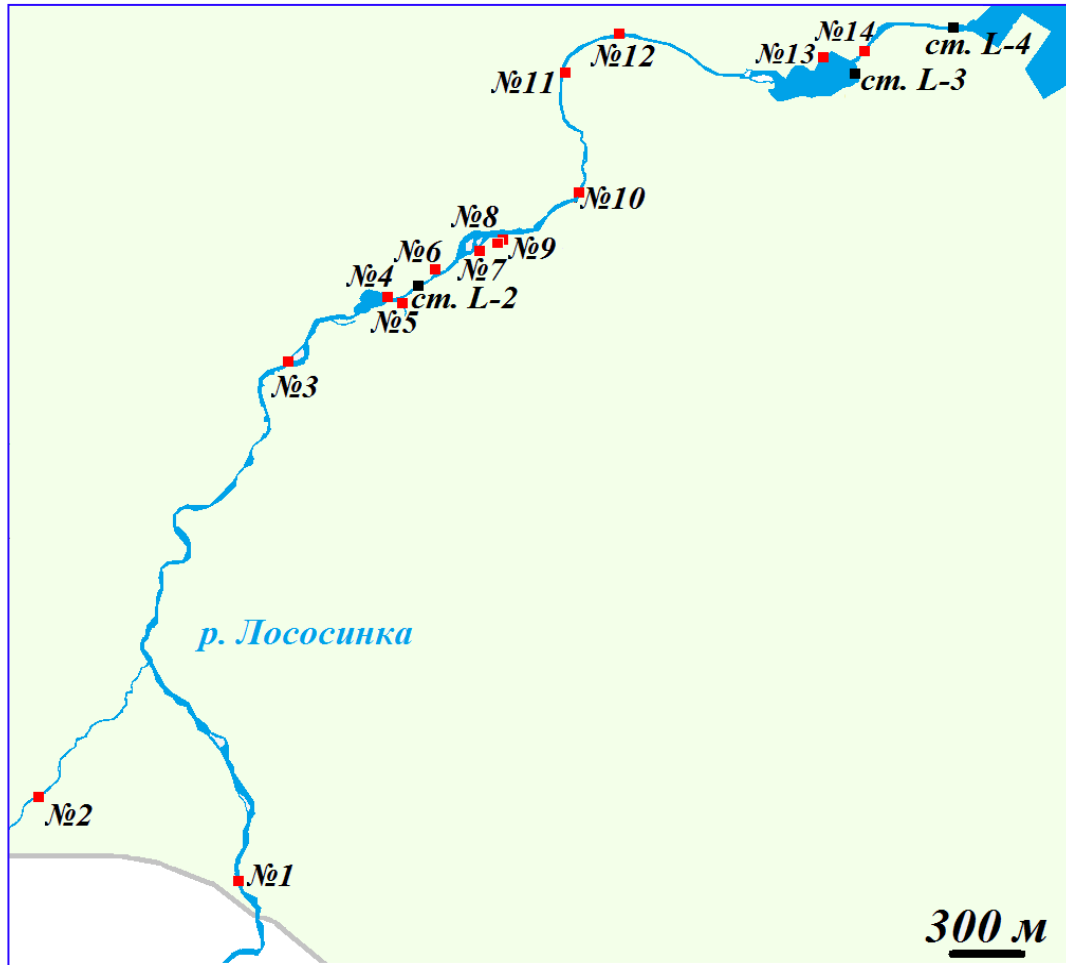
10. Железный ручей

11. Пухта

12. Шокша



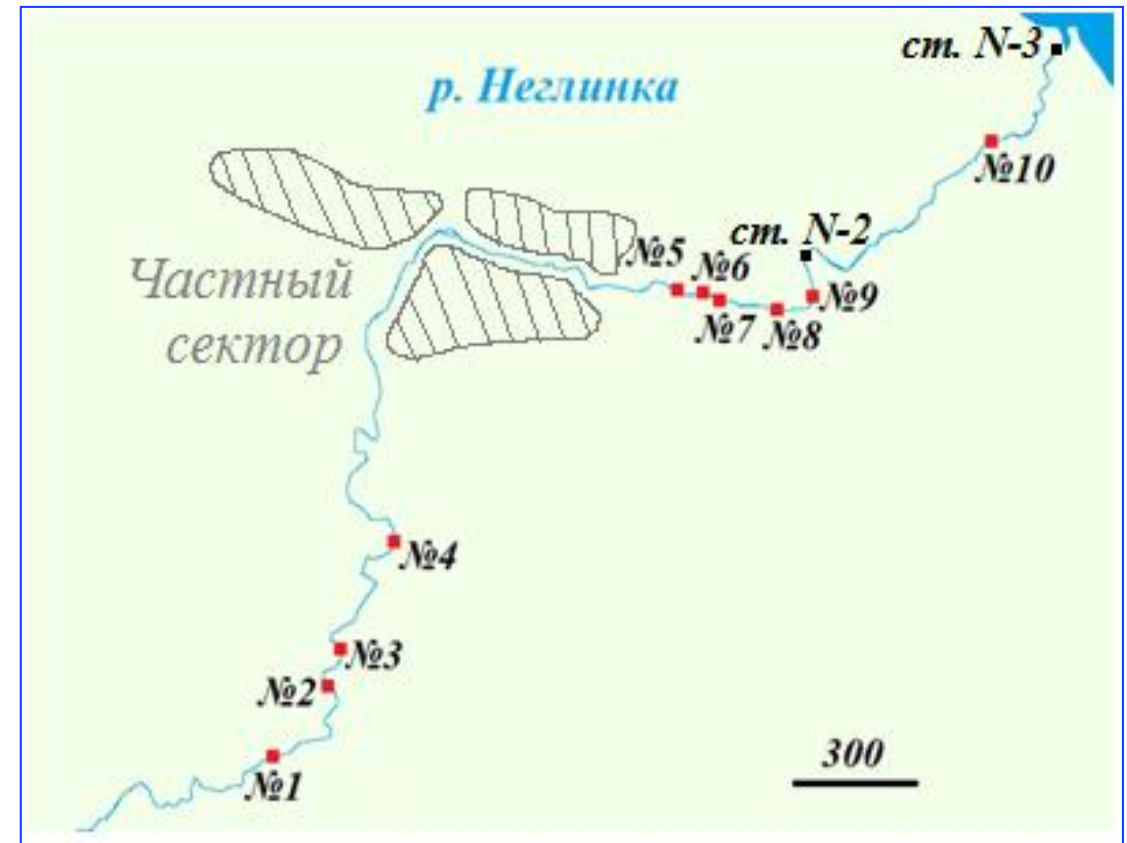
# Материал и методы исследования



Ливневые стоки\*:

14 ливневых стоков – на р. Лососинке

10 ливневых стоков – на р. Неглинке



\* Данные по химическому составу 14 стоков ливневой канализации в октябре 2014 г. и июле 2015 г. предоставлены отделом экологии мэрии Петрозаводского городского округа (Отчет..., 2014, 2015)

# *Материал и методы исследования*

Отбор проб осуществлялся по стандартной методике (МУК 4.2.3690-21; ГОСТ 31942-2012)

Обработка гидрохимических анализов (Алекин и др., 1973; Руководство по..., 1977; РД 52.24.381-2006; ПНД Ф 14.1:2.106-97; ПНД Ф 14.1:2.110-97; ГОСТ 31868-2012; РД 52.24.427-2013; РД 52.24.476-2007; ПНД Ф 14.1:2.110-97; ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97; ПНД Ф 14.1:2:4.128-98; ПНД Ф 14.1:2:4.248-07; РД 52.24.476-2007) производилась в лицензированных лабораториях: лаборатории экологических проблем Севера (ПетрГУ), аналитической лаборатории Института Леса (КарНЦ РАН), лаборатории гидрохимии и гидрогеологии Института водных проблем Севера (КарНЦ РАН)

Обработка микробиологических анализов и измерение первичной продукции и деструкции в воде (Руководство по химическому анализу ..., 1977 ; Zimmermann et al., 1978; Handbook of methods..., 1993; Романенко, Кузнецов, 1974; Кузнецов, Дубинина, 1989; МУК 4.2.3721-21)

выполнено лично автором

Статистический анализ включал использование метода главных компонент и методов непараметрической статистики (Коросов, 1996; Шитиков и др., 2005; Коросов, 2007) в лицензированном пакете Statistica Advanced 10 for Windows Ru



# Материал и методы исследования

## Гидрохимические показатели

Показатель	Количество проб
рН	141
Цветность	119
Перманганатная окисляемость	54
Бихроматная окисляемость	62
Fe <sub>общ</sub>	55
БПК <sub>5</sub>	133
Растворенный кислород	138
Взвешенные вещества	63
N–NO <sub>2</sub> –	54
N–NO <sub>3</sub> –	54
P <sub>общ</sub>	117
P <sub>мин</sub>	108
Нефтепродукты	58
Всего:	<b>1156</b>

## Микробиологические показатели

Показатель	Количество проб
Общая численность бактерий	158
Сапрофитные бактерии	158
Олигокарбофильные бактерии	158
Фенолрезистентные бактерии	158
Бактерии группы кишечной палочки	158
Общее микробное число	158
Нефтеокисляющие бактерии	157
Нитрифицирующие бактерии	134
Всего:	<b>1239</b>

**Отобрано – 162 пробы воды**

# *Результаты исследования*

# *Две группы показателей*

## *Региональные природные показатели\**

Цветность

Перманганатная окисляемость

Бихроматная окисляемость

Fe<sub>общ</sub>

pH

## *Антропогенные показатели*

БПК<sub>5</sub>

O<sub>2</sub>

NO<sub>2</sub>

NO<sub>3</sub>

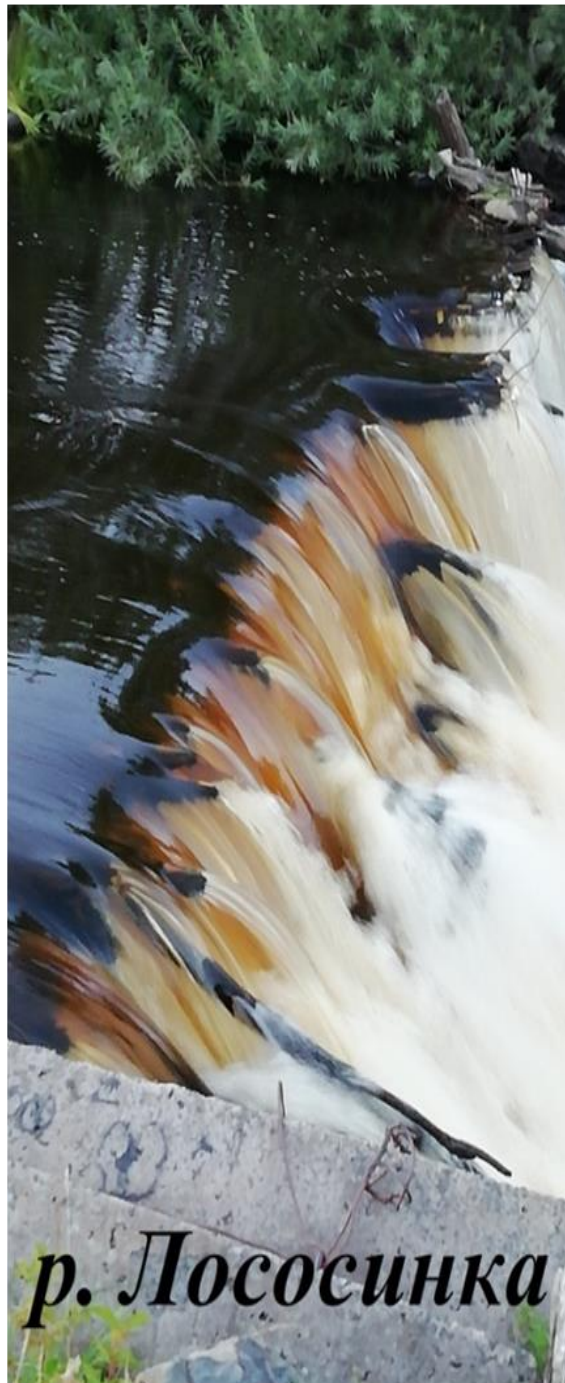
P<sub>общ</sub>

P<sub>мин</sub>

Взвешенные вещества

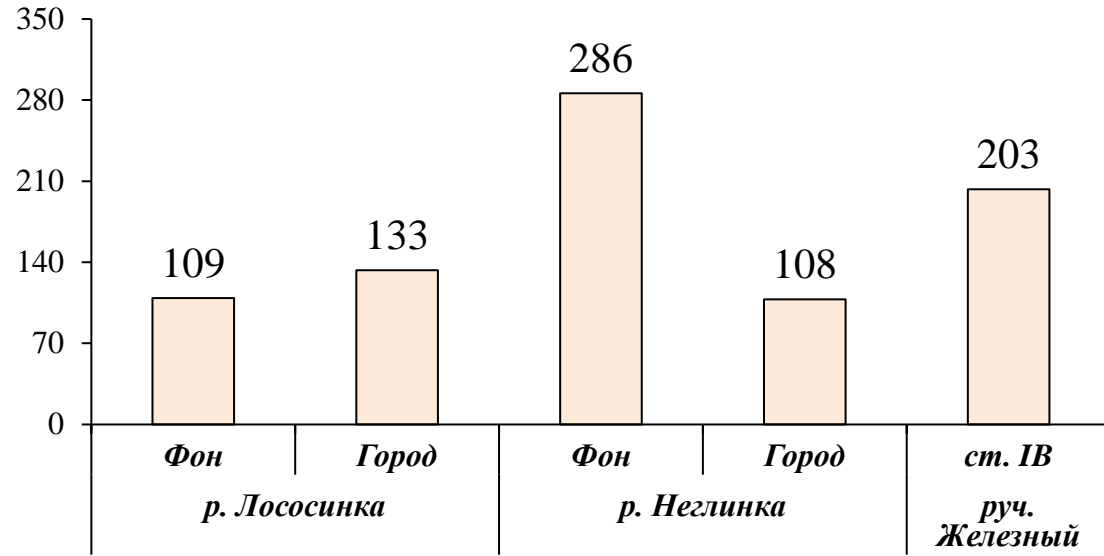
Нефтепродукты

# Природные особенности изученных рек

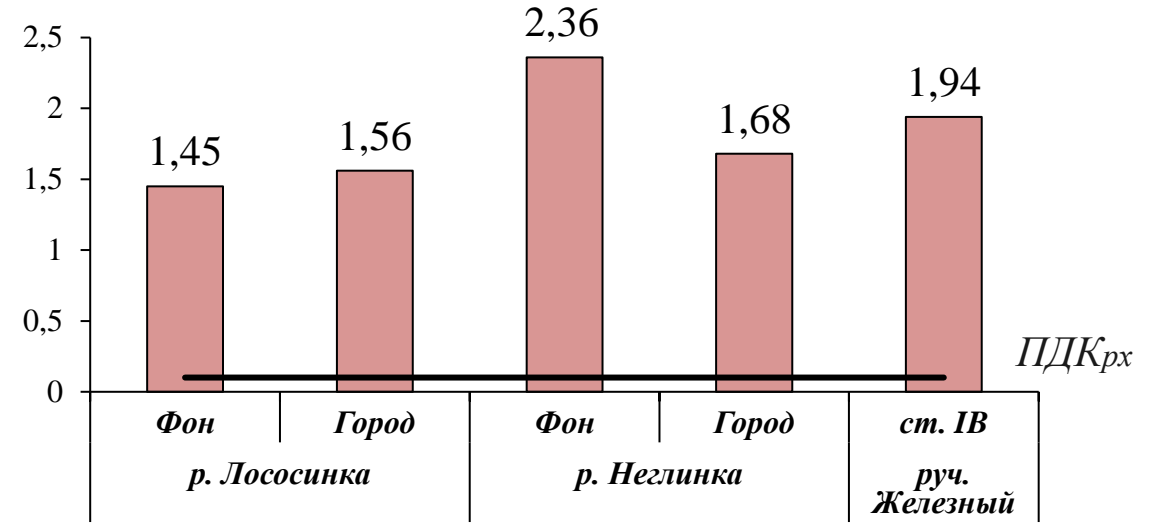


# Региональные особенности химического состава речных вод

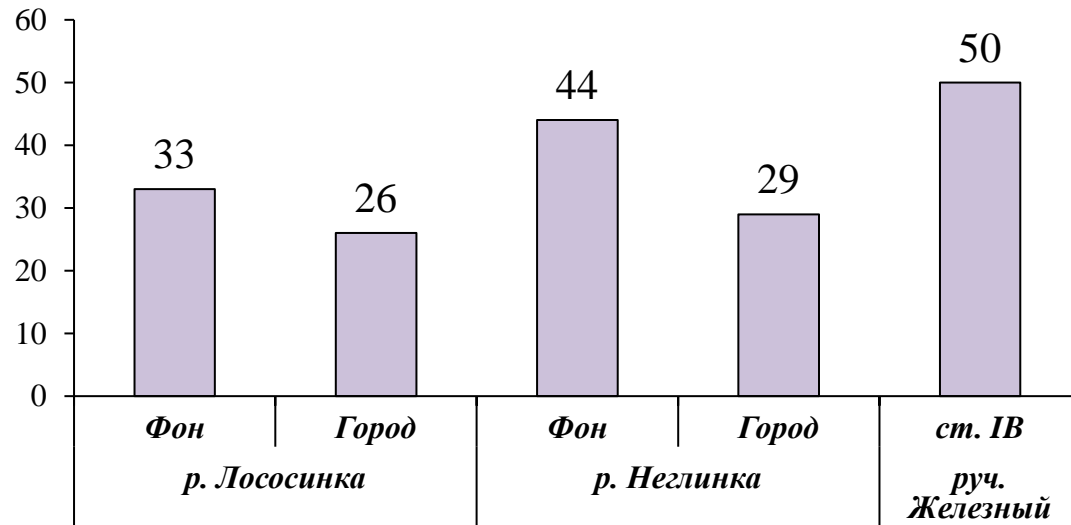
Цветность, град



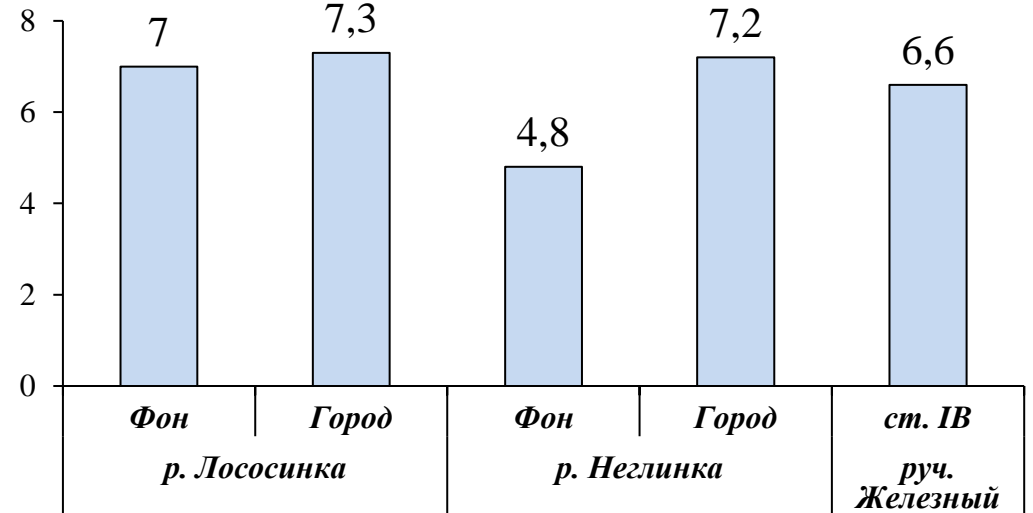
Fe, мг/л



Нит\*, ед.




pH



\* Гумусность (Нит) =  $\sqrt{\text{ЦВ} * \text{ПО}}$  (Лозовик, 2006, 2013)

# Оценка антропогенной нагрузки на реки на примере 2014 г.

Реки	Общий объем речного стока	Объем ливневых стоков	Доля ливневых стоков от общего объема речного стока	
	<i>км3/год</i>	<i>км3/год</i>	<i>%</i>	
Лососинка	0.104	0.030	29	
Неглинка	0.013	0.004	30	

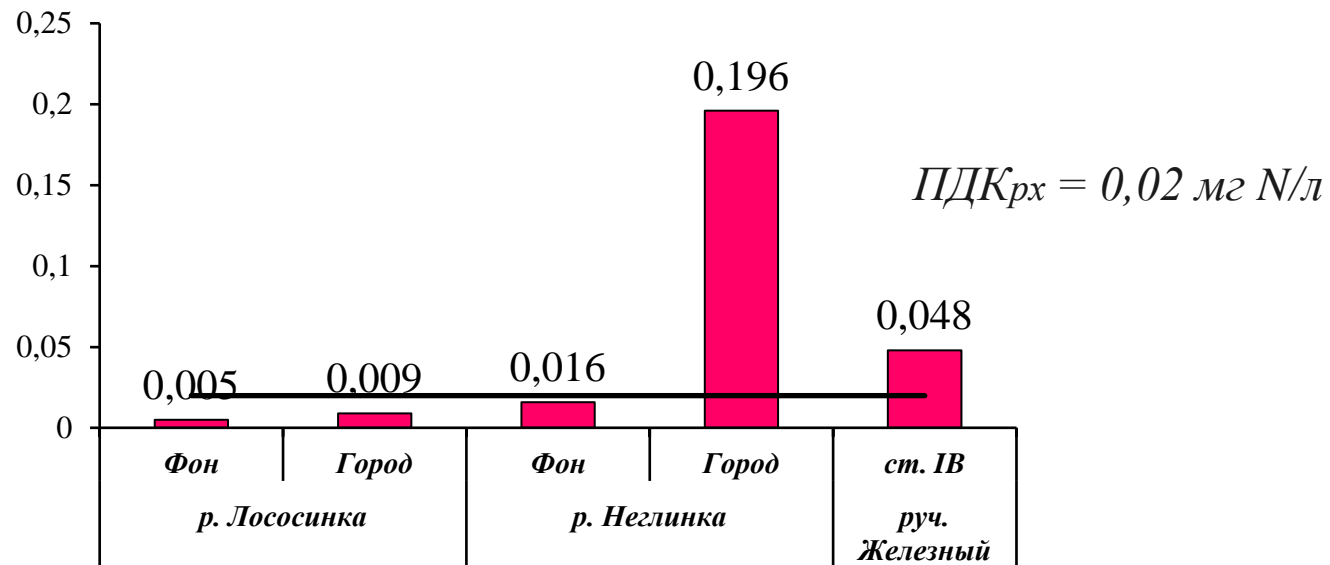
Антропогенная нагрузка  
**Высокая**

# *Химический состав воды ливневых вод, поступающих в урбанизированные притоки Онежского озера*

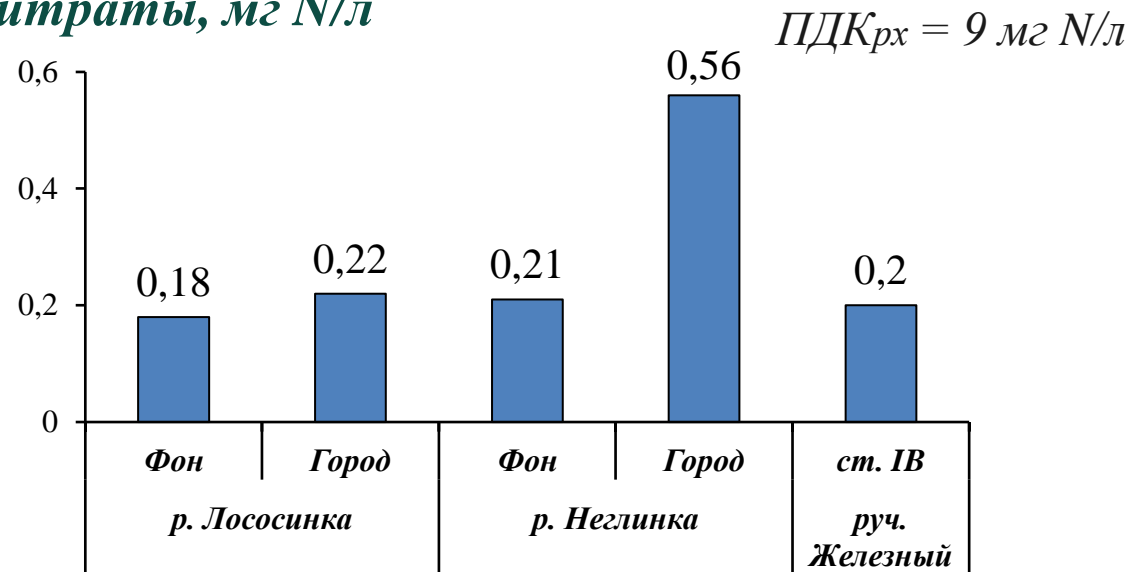
Показатель	ПДК	<i>р. Лососинка</i>		<i>р. Неглинка</i>	
		% проб, превышающих ПДК	Максимальная кратность превышения ПДК	% проб, превышающих ПДК	Максимальная кратность превышения ПДК
<i>Взвешенные вещества, мг/дм<sup>3</sup></i>	+0.25 к фону	80	149	69	295
<i>БПК<sub>5</sub>, мг/дм<sup>3</sup></i>	2.1	88	19	87	99
<i>Нефтепродукты, г/дм<sup>3</sup></i>	0.05	91	264	92	202

# Химический состав воды притоков Онежского озера

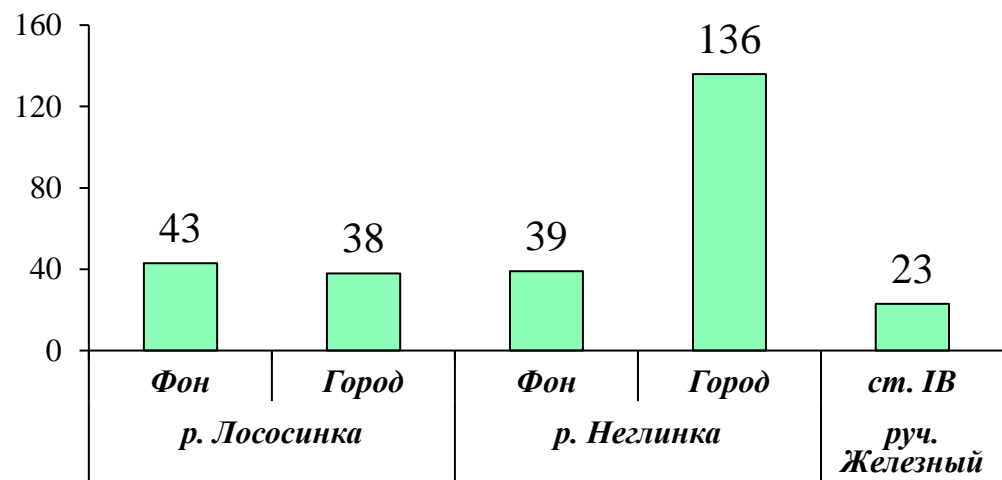
## Нитриты, мгN/л



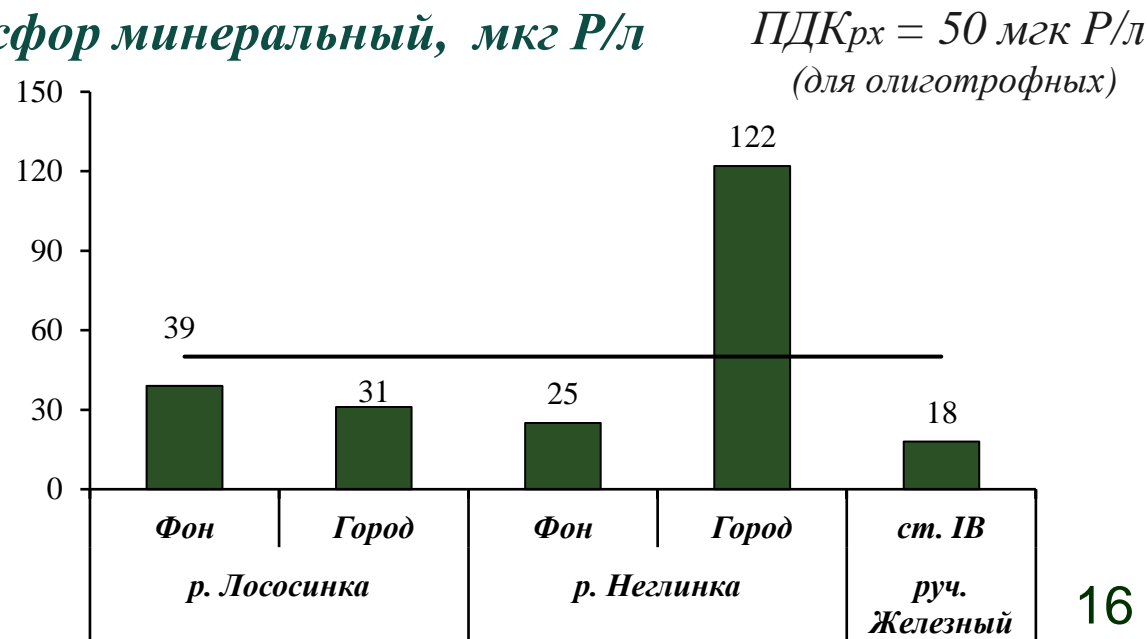
## Нитраты, мг N/л



## Фосфор общий, мкг P/л



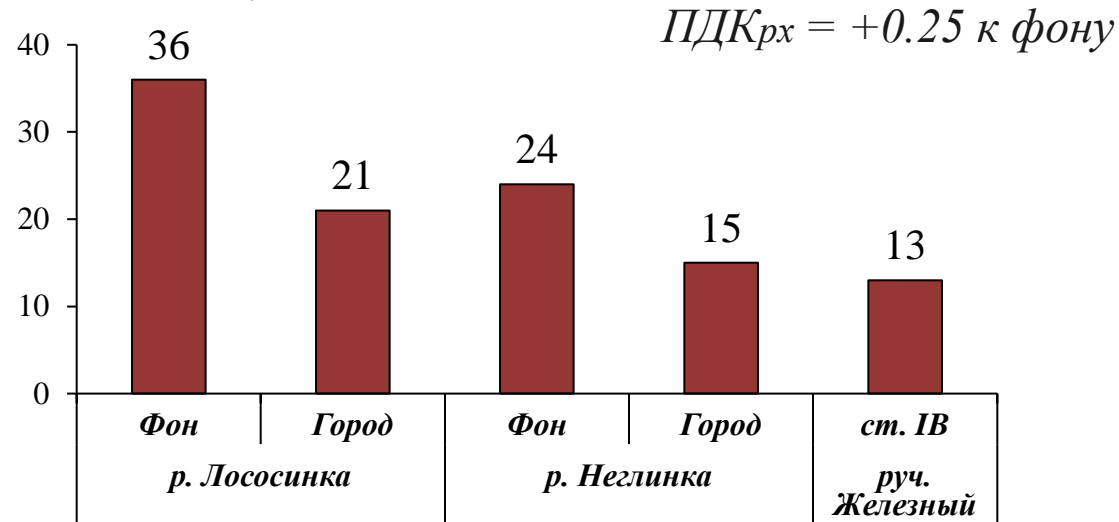
## Фосфор минеральный, мкг P/л



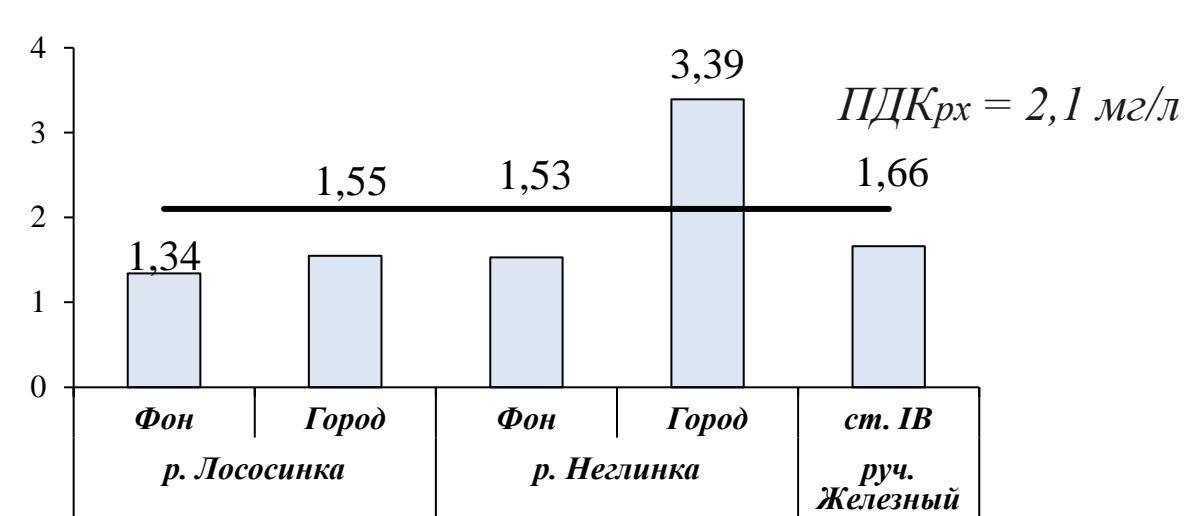


# Химический состав воды притоков Онежского озера

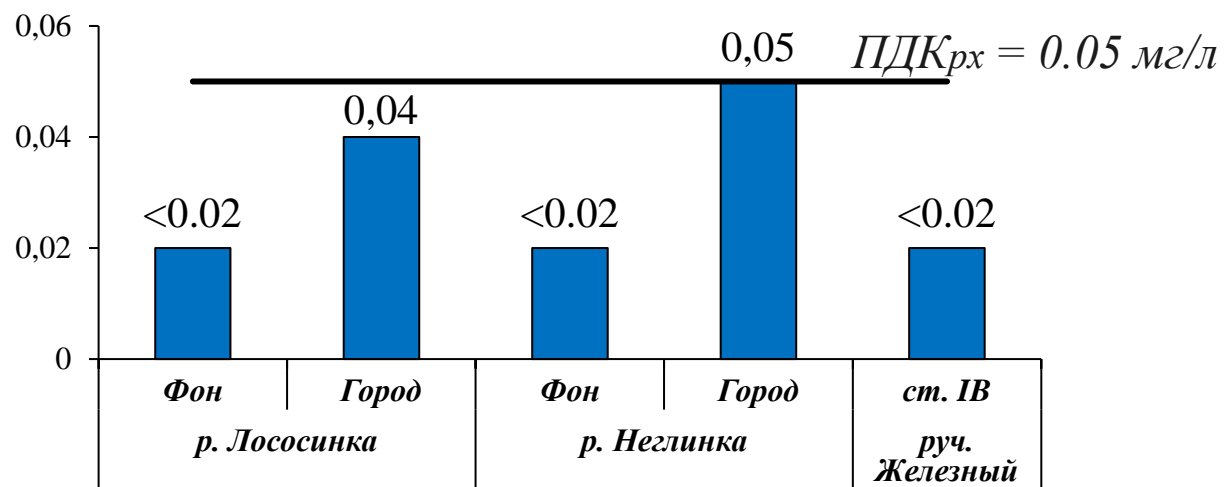
## Взвешенные вещества, мг/л



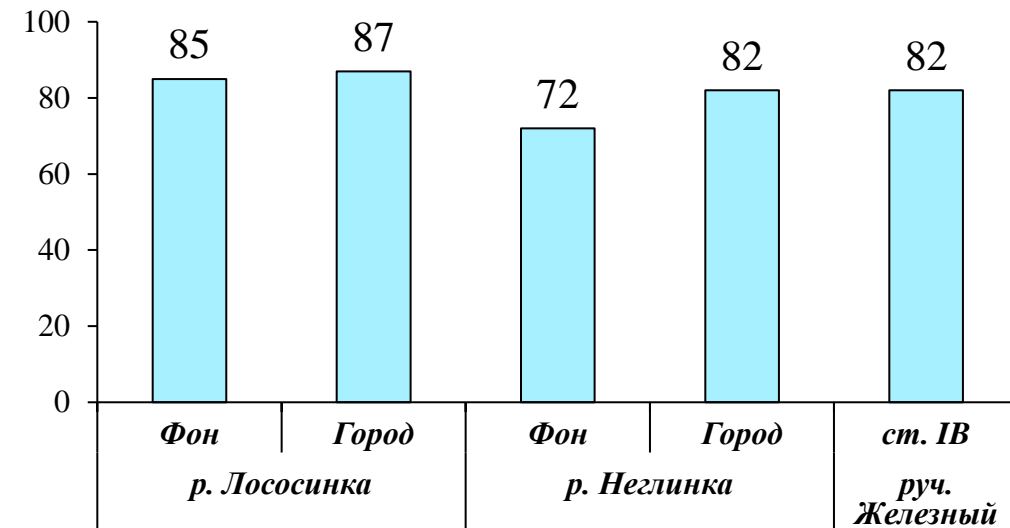
## БПК5, мг/л



## Нефтепродукты, мг/л



## Насыщение O<sub>2</sub>, %

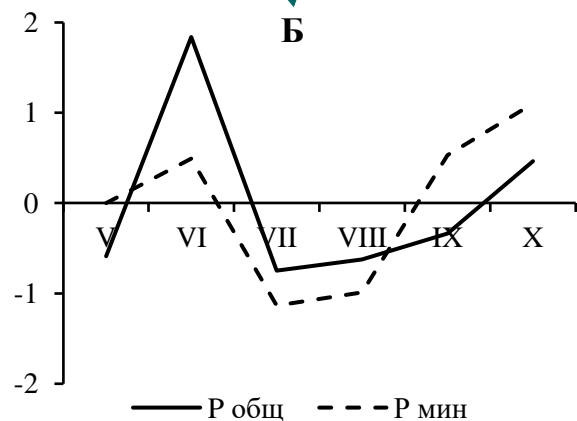
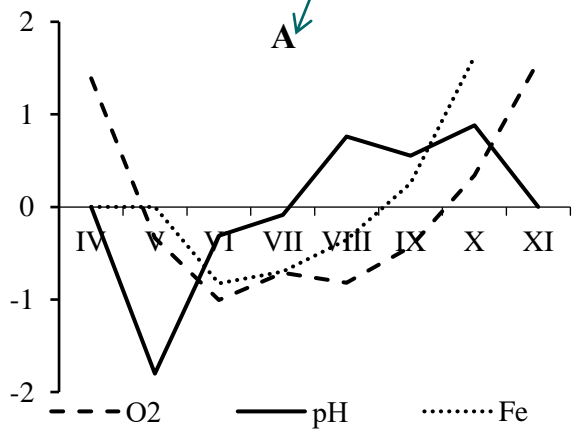


# Анализ сезонной и пространственной изменчивости химического состава вод р. Лососинки в 2015 г. (РСА)

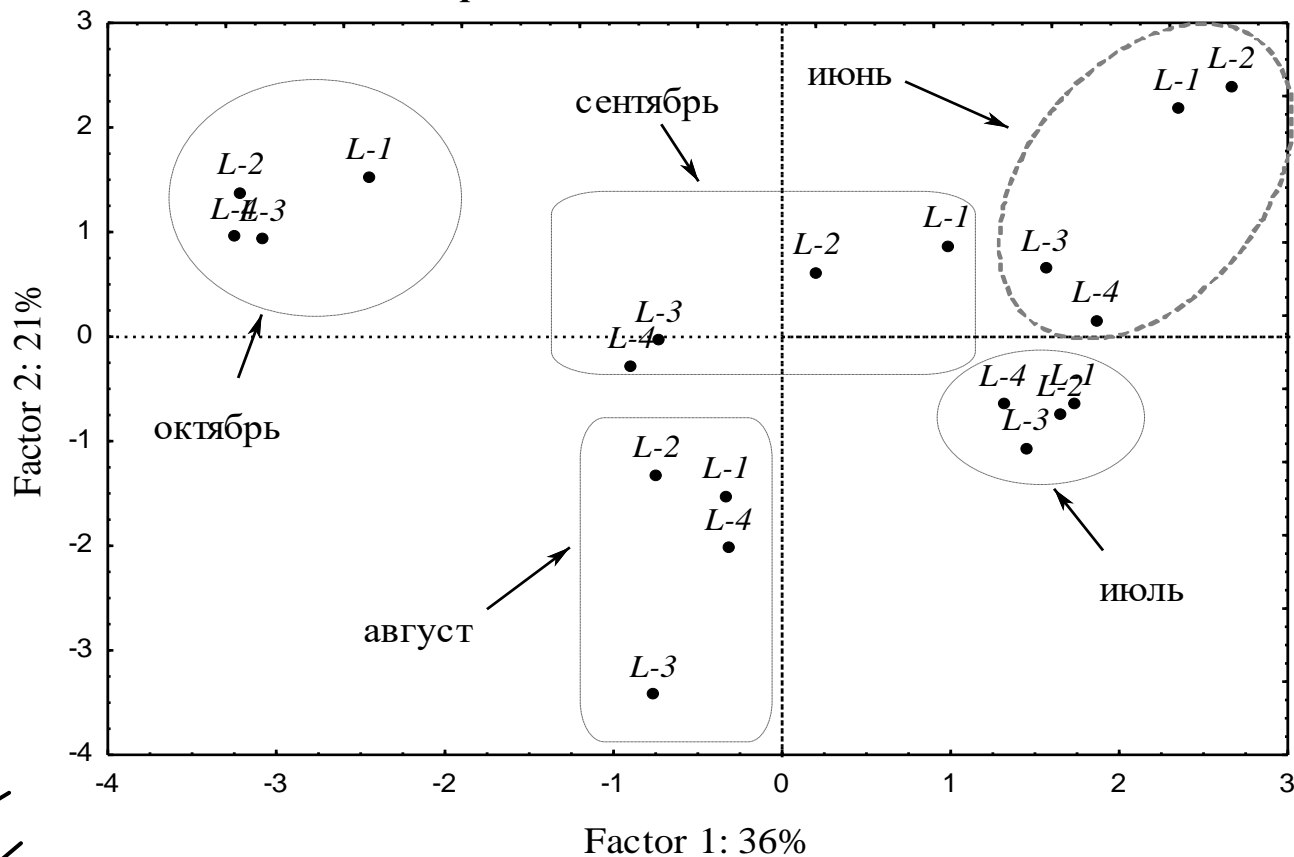
Матрица корреляций, факторные нагрузки

	ГК-1	ГК-2
рН	<b>-0.9</b>	-0.3
Цветность	-0.6	-0.4
O <sub>2</sub>	<b>-0.7</b>	0.4
Насыщение O <sub>2</sub>	0.6	0.0
Fe <sub>общ</sub>	<b>-0.9</b>	0.3
БО	0.6	0.3
БПК <sub>5</sub>	-0.1	-0.5
Взвешенное вещество	0.2	0.2
P <sub>общ</sub>	0.2	<b>0.8</b>
P <sub>мин</sub>	-0.4	<b>0.8</b>
Доля в общей дисперсии, %	35	22

\*нагрузки признаков с достоверным вкладом ( $p < 0.05$ ) в значения главных компонент



р. Лососинка, 2015 г.



Ординация станций р. Лососинки в 2015 г. по результатам отбора гидрохимических проб

Сезонная динамика гидрохимических показателей (нормированные данные), входящих в ГК-1 (А) и ГК-2 (Б) для р. Лососинки

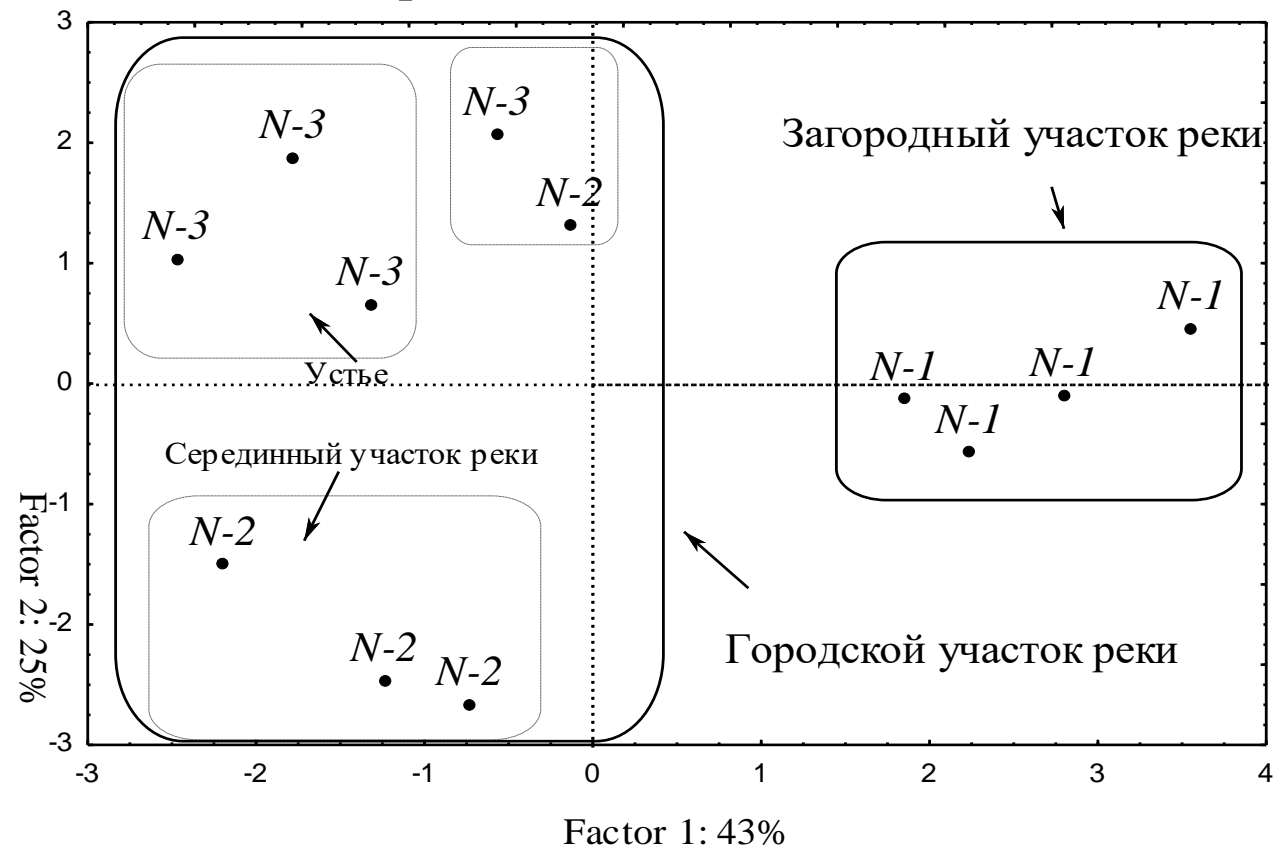
# Анализ сезонной и пространственной изменчивости химического состава вод р. Неглинки в 2015 г. (РСА)

Матрица корреляций, факторные нагрузки

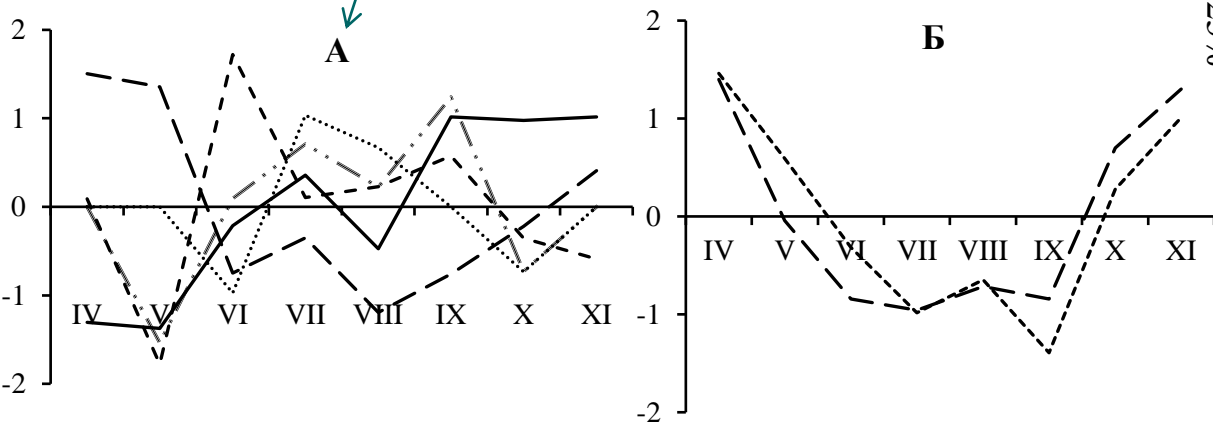
	ГК-1	ГК-2
pH	-0.9	0.2
Цветность	0.9	0.0
O <sub>2</sub>	0.1	1.0
Насыщение O <sub>2</sub>	-0.2	0.9
Fe <sub>общ</sub>	0.6	0.2
БО	0.6	-0.6
БПК <sub>5</sub>	-0.7	-0.5
Взвешенное вещество	-0.1	-0.2
P <sub>общ</sub>	-0.8	-0.1
P <sub>мин</sub>	-0.8	0.0
Доля в общей дисперсии, %	43	25

\* нагрузки признаков с достоверным вкладом (p < 0.05) в значения главных компонент

р. Неглинка, 2015 г.



Ординация станций р. Неглинки в 2015 г. по результатам отбора гидрохимических проб



— pH      - - - Цветность      - - - БПК<sub>5</sub>  
 - · - · - P<sub>общ</sub>      ······ P<sub>мин</sub>      - - - O<sub>2</sub>      - - - - - Насыщение O<sub>2</sub>

Сезонная динамика гидрохимических показателей (нормированные данные), входящих в ГК-1 (А) и ГК-2 (Б) для р. Неглинки

**Загрязненность и значения УКИЗВ (без учета числа КПЗ\*) на станциях отбора проб в 2015 г., включая все гидрохимические показатели**

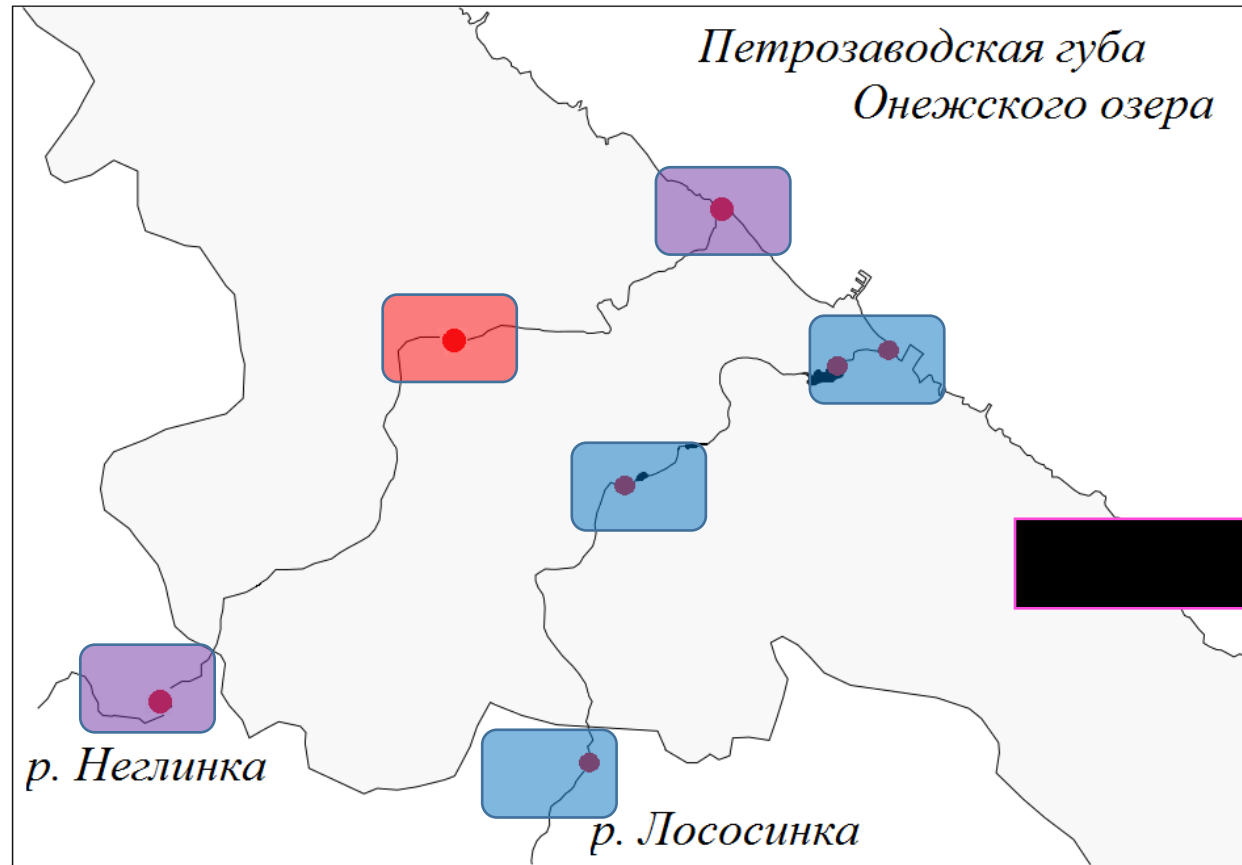
	УКИЗВ	Характеристика состояния загрязненности воды	Ингредиенты с превышением ПДК
Ст. L-1	2.82	3«а», загрязненная	БПК <sub>5</sub> , Fe <sub>общ</sub>
Ст. L-2	2.8	3«а», загрязненная	взвешенное вещество, Fe <sub>общ</sub>
Ст. L-4	2.58	3«а», загрязненная	взвешенное вещество, Fe <sub>общ</sub>
Ст. N-1	3.25	3«б», очень загрязненная	pH, Fe <sub>общ</sub>
Ст. N-2	5.44	4«а», грязная	растворенный кислород, БПК <sub>5</sub> , Р <sub>мин</sub> , нефть, взвешенное вещество, Fe <sub>общ</sub>
Ст. N-3	3.67	3«б», очень загрязненная	БПК <sub>5</sub> , Р <sub>мин</sub> , взвешенное вещество, Fe <sub>общ</sub>
Ст. IB	3.84	3«б», очень загрязненная	pH, растворенный кислород, БПК <sub>5</sub> , Fe <sub>общ</sub>

**Загрязненность и значения УКИЗВ (без учета числа КПЗ\*) на станциях отбора проб в 2015 г. без учета природных показателей**

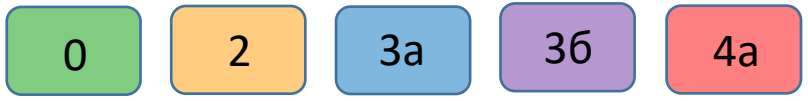
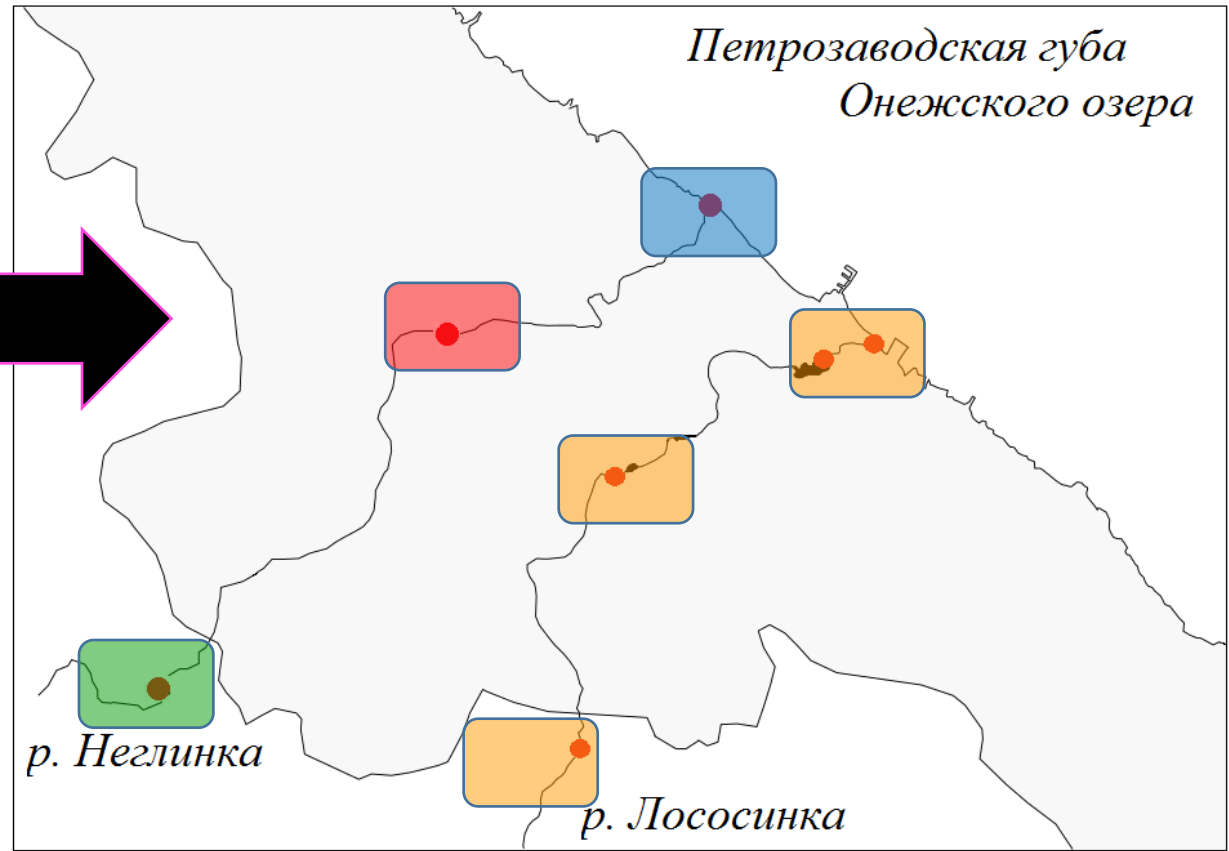
	УКИЗВ	Характеристика состояния загрязненности воды	Ингредиенты с превышением ПДК
Ст. L-1	1.06	2, слабо загрязненная	БПК <sub>5</sub>
Ст. L-2	1.36	2, слабо загрязненная	взвешенное вещество
Ст. L-4	1.04	2, слабо загрязненная	взвешенное вещество
Ст. N-1	0	Условно чистая	—
Ст. N-2	4.96	4«а», грязная	растворенный кислород, БПК <sub>5</sub> , Р <sub>мин</sub> , нефть, взвешенное вещество
Ст. N-3	2.63	3«а», загрязненная	БПК <sub>5</sub> , Р <sub>мин</sub> , взвешенное вещество
Ст. IB	1.43	2, слабо загрязненная	растворенный кислород, БПК <sub>5</sub>

\*КПЗ – критический показатель загрязненности, показатель загрязненности воды, по которому обобщенный оценочный балл превышает 9

*Схема качества воды рек по значениям УКИЗВ на станциях отбора проб, включая все гидрохимические показатели*



*Схема качества воды рек по значениям УКИЗВ на станциях отбора проб, без учета природных показателей*



Классы качеств по значениям УКИЗВ  
→

**Микробиологические  
показатели притоков  
Онежского озера**

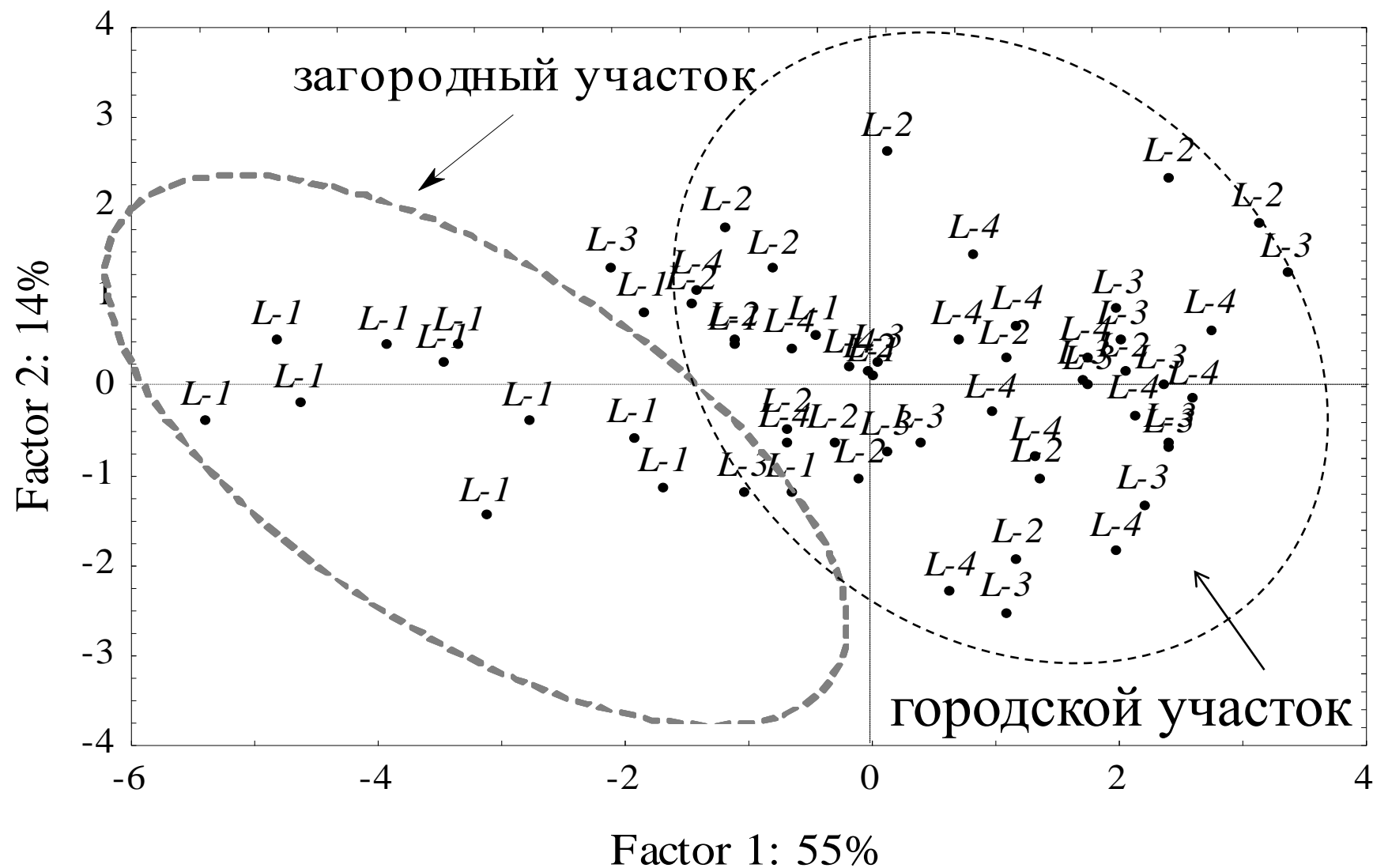
# Количественные показатели бактериопланктона

	р. Лососинка		р. Неглинка		Руч. Железный
	Фон	Городской участок	Фон	Городской участок	Ст. IV
Общая численность БП, млн кл./мл	2.0	2.7	1.1	3.6	1.84
Сапрофитные бактерии, тыс. КОЕ/мл	0.74	3.68	0.98	16.43	1.21
Олигокарбофильные бактерии, тыс. КОЕ/мл	2.17	8.4	1.4	29.3	4.06
Фенолрезистентные бактерии, тыс. КОЕ/мл	0.37	2.24	0.48	11.9	1.58
Нефтеокисляющие бактерии, тыс. КОЕ/мл	0.08	0.34	0.2	1.75	0.21
Бактерии группы кишечной палочки, тыс. КОЕ/л	3.9	53.2	13.9	492	12.3
Общее микробное число, тыс. КОЕ/мл	0.11	0.6	0.07	5.95	0.16

# Пространственная изменчивость (РСА)

р. Лососинка, 2014-2015 гг.

	ГК-1	ГК-2
ОЧБ	0.2	<b>-0.8</b>
БГКП	<b>0.7*</b>	0.0
ОМЧ	<b>0.9</b>	0.1
СБ	<b>0.9</b>	0.1
ОКБ	<b>0.9</b>	-0.1
ФРБ	<b>0.9</b>	0.0
НОБ	<b>0.8</b>	-0.1
НБ	0.4	0.6
Доля в общей дисперсии, %	55	14



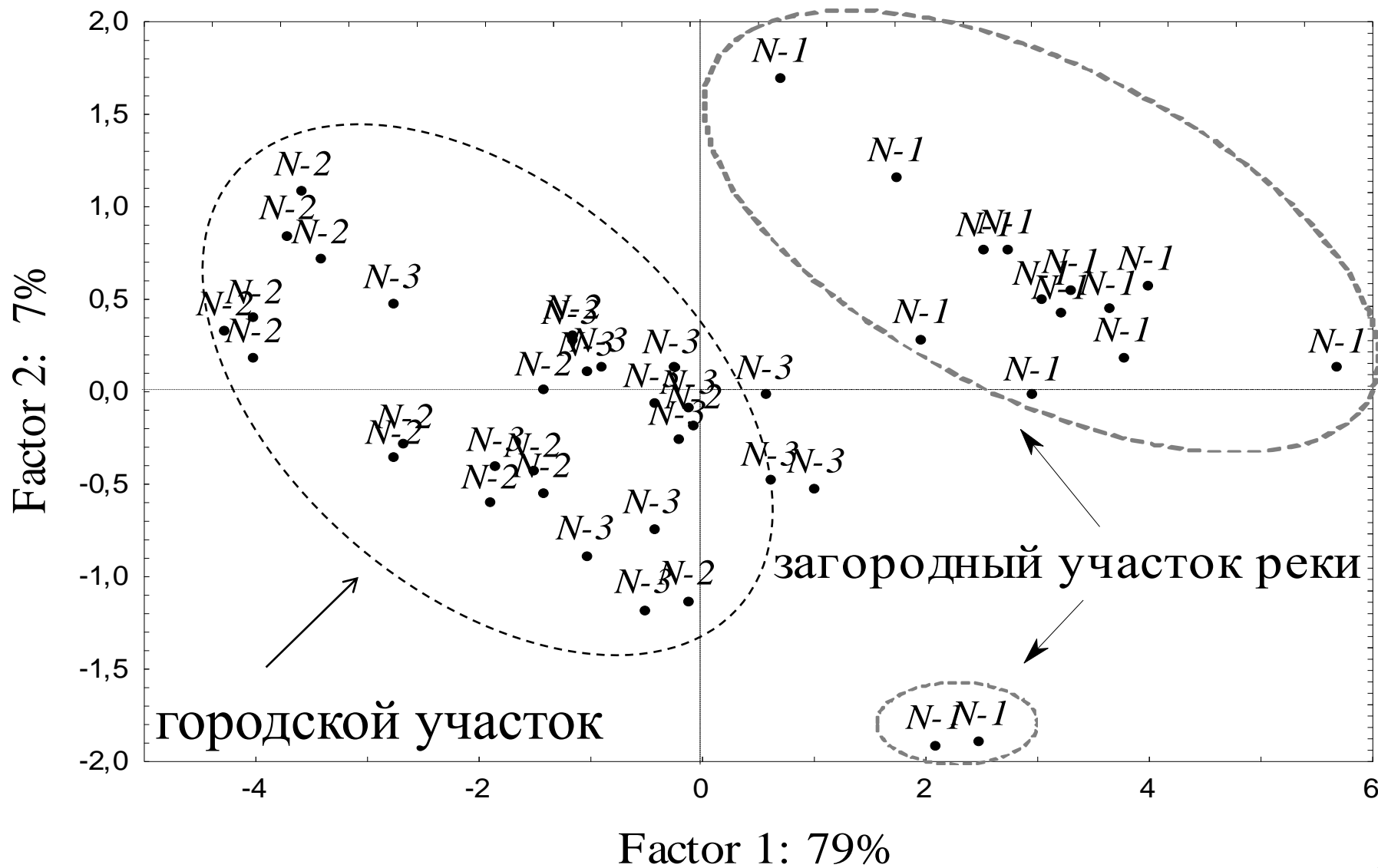
\*нагрузки признаков с достоверным вкладом ( $p < 0.05$ ) в значения главных компонент.



# Пространственная изменчивость (РСА)

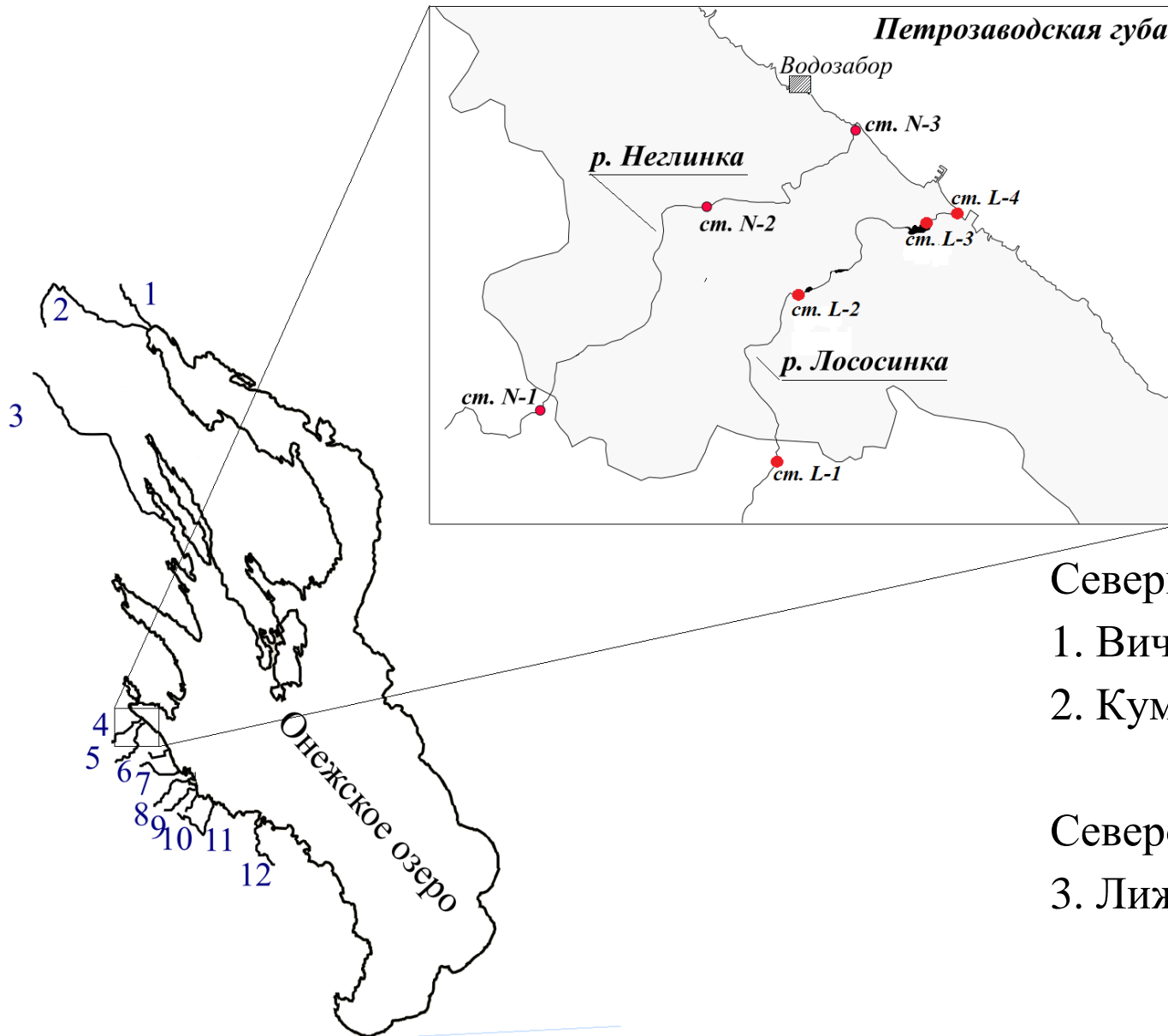
р. Неглинка, 2014-2015 гг.

	ГК-1	ГК-2
ОЧБ	<b>-0.8*</b>	0.2
БГКП	<b>-0.9</b>	0.0
ОМЧ	<b>-0.9</b>	0.0
СБ	<b>-0.9</b>	0.1
ОКБ	<b>-1.0</b>	0.1
ФРБ	<b>-0.9</b>	0.2
НОБ	<b>-0.9</b>	-0.1
НБ	<b>-0.7</b>	<b>-0.7</b>
Доля в общей дисперсии, %	79	7



\*нагрузки признаков с достоверным вкладом ( $p < 0.05$ ) в значения главных компонент.

# Для РСА использовали гидрохимические и микробиологические данные 12 притоков



Фоновые и городские станции притоков  
Онежского озера:

Юго –западные притоки:

- 4. Неглинка
- 5. Лососинка

Приустьевые участки притоков  
Онежского озера:

Северные притоки:

- 1. Вичка
- 2. Кумса

Северо-западный приток:

- 3. Лижма

Юго –западные притоки:

- 6. Нелукса
- 7. Орзегга
- 8. Деревянка

9. Уя

- 10. Железный ручей
- 11. Пухта
- 12. Шокша

# Метод главных компонент (РСА)

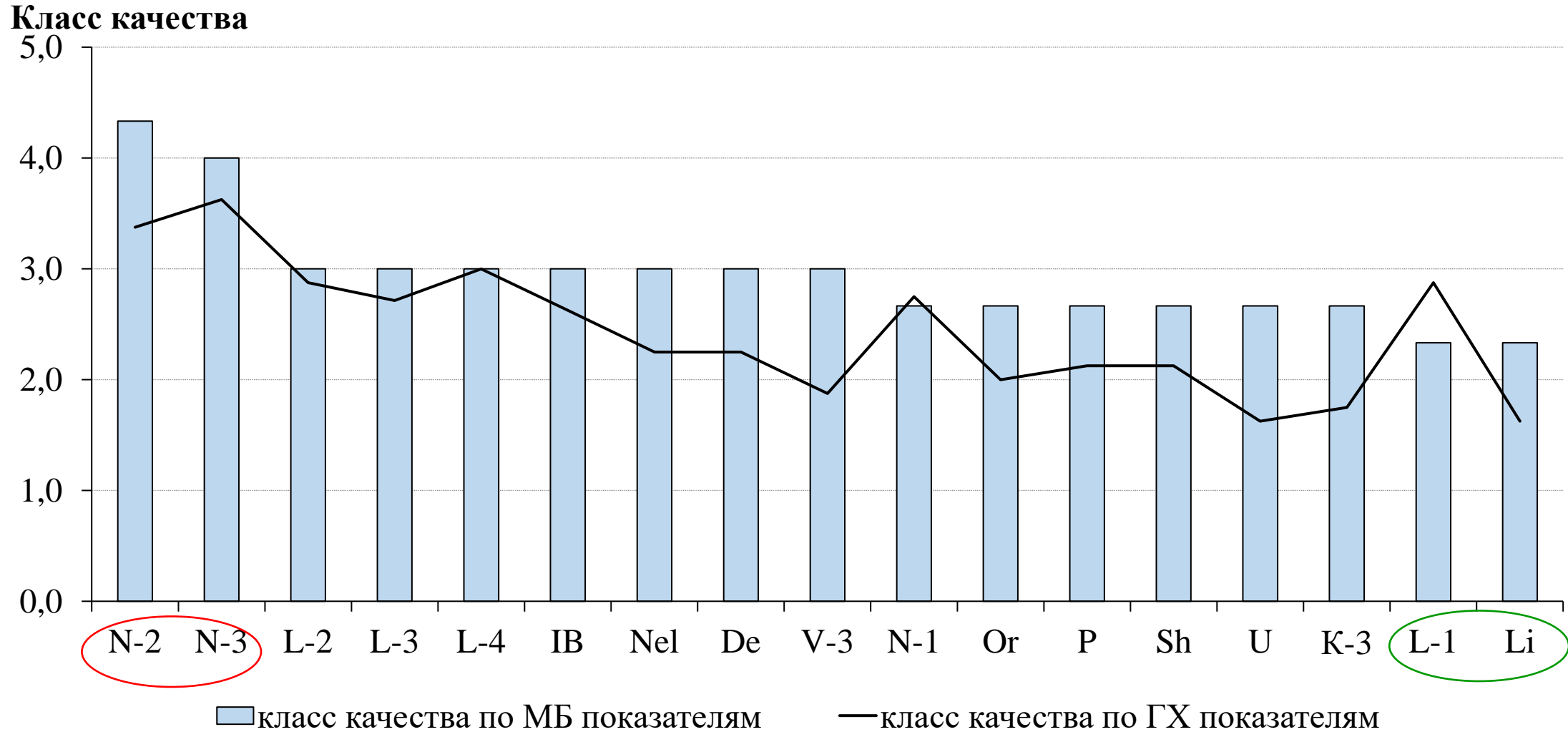
	ГК-1	ГК-2	ГК-3
Содержание кислорода	0.5	0.4	-0.1
рН	-0.1	<b>0.8</b>	0.5
Цветность	0.2	<b>-0.7</b>	<b>-0.6</b>
БО	0.1	<b>-0.7</b>	0.5
БПК <sub>5</sub>	<b>-0.8*</b>	0.1	-0.1
Взвешенное вещество	-0.3	0.2	-0.5
Общий фосфор	0.2	-0.3	<b>0.8</b>
ОЧБ	<b>-0.7</b>	0.4	0.0
БГКП	<b>-0.7</b>	0.0	-0.1
ОМЧ	<b>-0.9</b>	-0.1	0.1
СБ	<b>-1.0</b>	-0.1	0.1
ОКБ	<b>-1.0</b>	-0.1	0.1
ФРБ	<b>-1.0</b>	-0.1	0.1
НОБ	<b>-1.0</b>	-0.1	0.1
Доля в общей дисперсии, %	46	15	13

Коэффициент корреляции Спирмена между БПК<sub>5</sub> и микробиологическим показателям был значимым: 0.5 – 0.9

\* нагрузки признаков с достоверным вкладом ( $p < 0.05$ ) в значения главных компонент

# Связь химических и микробиологических показателей

Биоиндикация экологического состояния рек по комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши (Оксиюк и др., 1993)



Коэффициент корреляции Спирмена между значениями классов качества воды по гидрохимическим и микробиологическим показателям составил 0.6

# *Выводы*

1. Высокие показатели цветности воды (110–290 град), содержания железа (1.4–2.4 мг/л) и пониженные значения рН (до 4.8) притоков Онежского озера – рек Лососинки, Неглинки и ручья Железного, являются региональными особенностями химического состава воды и определяются повышенной заболоченностью (10–13%) водосборов этих притоков.

2. Выявлена высокая антропогенная нагрузка на притоки Онежского озера – реки Лососинку и Неглинку, протекающие по городской территории и принимающие ливневые стоки г. Петрозаводска. Годовой объем ливневых стоков составляет 30% от объема речных вод, содержание легкоминерализуемого органического вещества, определяемого по БПК<sub>5</sub>, в ливневых стоках превышает ПДК в 1.2–94.3 раз, взвешенных веществ – в 1.2–132 раз, нефтепродуктов – в 1.9–78.6 раз.

## ***Выводы***

3. Применен региональный подход к оценке качества воды притоков Онежского озера по гидрохимическим показателям, который позволил уточнить зоны влияния антропогенного фактора

4. Выявлена выраженная пространственная неоднородность распределения эколого-трофических групп бактериопланктона в воде рек Лососинки и Неглинки. Количественные показатели бактериопланктона характеризовались достоверными различиями на загородных и городских участках рек.

При транзите речных вод через территорию г. Петрозаводска показатели общей численности бактерий в среднем возрастают в 2.8 раз, сапрофитных бактерий – в 19, олигокарбофильных бактерий – в 21, фенолрезистентных бактерий – в 20, углеводородокисляющих бактерий – в 15, общее микробное число и количество бактерий группы кишечной палочки – в 132 раза.

## ***Выводы***

5. Развитие количественных показателей бактериопланктона притоков Онежского озера, протекающих по урбанизированным территориям, обусловлено наличием легкоминерализуемого органического вещества, которое характеризует влияние антропогенного фактора, что позволяет применять в биомониторинге высокоцветных вод общепринятые классификации качества воды по микробиологическим показателям.



**Спасибо за внимание**