

УДК 574. 583.(28): 59

А. Н. Круглова, И. А. Барышев

**ЭЛИМИНАЦИЯ ЛИМНИЧЕСКОГО ЗООПЛАНКТОНА
В ПОРОЖИСТОЙ РЕКЕ (НА ПРИМЕРЕ
ОЗ. КЕДРОЗЕРО И Р. ЛИЖМЫ, БАС. ОНЕЖСКОГО
ОЗЕРА)¹**

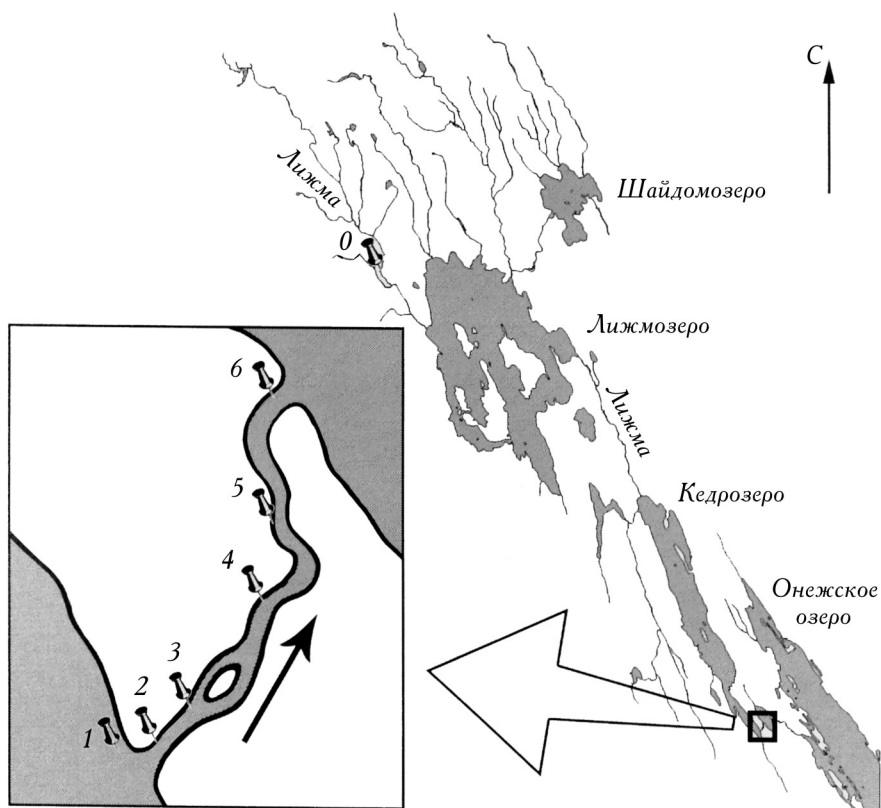
Исследованы видовой состав и количественные показатели зоопланктона р. Лижмы выше и ниже оз. Кедрозеро по течению. На порожищем участке ниже озера происходит закономерная элиминация зоопланктона, которая может быть описана экспоненциальным уравнением. В первую очередь выпадают представители крупных видов ракообразных и беспанцирных коловраток.

Ключевые слова: зоопланктон, река, элиминация, проточное озеро, биомасса.

Множество водоемов и водотоков Фенноскандии образует протяженные озерно-речные системы, особенностью которых является чередование участков со стоячей и текущей водой. В большинстве из них обитают хозяйственно ценные лососевые рыбы. Большое значение для их естественного воспроизводства имеет состояние кормовой базы на нерестово-выростных участках рек [16]. Формирование сообществ водных беспозвоночных в озерно-речных системах в значительной степени зависит от качества и количества лимнического аллохтонного вещества и расстояния, на которое оно распространяется вниз по течению реки. Ранее выполненные исследования показали, что по мере продвижения водного потока от сточного озера вниз по течению численность организмов зоопланктона закономерно снижается, скорость элиминации в разных водотоках существенно различается [7, 8, 18, 19]. Известно, что озерный планктон, попадая в реки, служит кормом для организмов бентоса (личинок ручейников, мошек и др.). На участках, где река вытекает из озера, формируются особые сообщества, потребляющие выносимый из озера зоопланктон и отличающиеся повышенной биомассой [15, 20, 21]. Таким образом, поступление лимнического планктона оказывает большое влияние на всю речную экосистему. С учетом значения озерно-речных экосистем на территории Карелии представляется актуальной целью нашей работы — проследить динамику видового состава, численности

¹ Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых — кандидатов наук МК-1020.2010.4.

© Круглова А. Н., Барышев И. А., 2010



1. Схема расположения станций отбора проб.

и биомассы лимнического зоопланктона в порожистом водотоке ниже озера по течению.

Материал и методика исследований. Исследования зоопланктона проводили на верхних участках р. Лижмы (ст. 0), в оз. Кедрозере (ст. 1) и р. Лижме ниже его (ст. 2—6, «Кедра-река») в августе 2007 г. (рис. 1).

Выбор сроков работ обусловлен периодом стабильного водного режима и наибольшего развития организмов планктона (биологическое лето). Сбор и камеральную обработку материала проводили по общепринятой методике [3, 4, 12]. Объем процеженной воды на каждой станции составлял 200 л. Характеристика станций отбора проб приведена в таблице 1. Статистические расчеты проведены с использованием программ Microsoft Excel и Statgraphics Plus 5.0.

Результаты исследований и их обсуждение

Река Лижма — типичная лососевая река бас. Онежского озера [1], относится к водным системам типа озерно-речных, характеризуется высокой

1. Характеристика станций отбора проб

Номера станций	Скорость течения, м/с	Расстояние от озера, м
0*	0,50	—
1	0,05	0
2	0,70	66
3	0,45	103
4	0,55	270
5	0,60	556
6	0,55	732

* Станция расположена выше озер.

озерностью водосбора (19,4%). Общая ее протяженность — 68,3 км, площадь водосбора — 934 км². Лижма протекает через три озера — Лижмозеро, Кедрозеро и Тарасмозеро. Кедрозеро делит реку на средний и нижний участки. Наибольшее влияние озер наблюдается на нижнем участке реки [2, 14]. Между ст. 0 (верхний участок р. Лижмы) и ст. 2—6 (нижний участок) расположены два озера — Лижмозеро (площадью 104,0 км²) и Кедрозеро (24,9 км²). Непосредственное влияние на формирование планктонной фауны нижерасположенного участка реки оказывает Кедрозеро. Оно характеризуется невысоким показателем водообмена (вода озера заменяется в течение почти целого года) и относится к числу олиготрофных водоемов со средней биомассой зоопланктона 0,5 г/м³ [9]. Характерными компонентами зоопланктона Кедрозера являются *Holopedium gibberum* Zaddach, *Bosmina coregoni* Baird, *Mesocyclops leuckarti* (Claus), *Eudiaptomus gracilis* (Sars), *Limnocalanus macrurus* Sars, *Asplanchna priodonta* Gosse, *Kellicottia longispina* (Kellcott) и *Keratella cochlearis* (Gosse) [11].

Сведения о видовом составе зоопланктона р. Лижмы опубликованы ранее [6, 9]. По результатам данного исследования таксономический список зоопланктона включает 34 вида, в том числе коловраток — 8 видов (23%), ветвистоусых ракообразных — 20 (59%) и веслоногих ракообразных — 6 (18%). Таким образом, основу видового состава (77%) планктонной фауны реки составляют ракообразные. В верхнем ее течении (ст. 0) обнаружено всего 9 видов зоопланктона, в основном ветвистоусые ракообразные. Зоопланктон нижнего участка реки более богат за счет поступления организмов из Кедрозера.

Максимальное количество видов зоопланктона отмечено в прибрежном участке озера (ст. 1). Затем, по мере удаления от озера, наблюдается снижение количества планктонных видов, в первую очередь крупных лимнических. К станциям 5 и 6 остается всего лишь два вида мелких панцирных коловраток (*K. longispina* и *Vipalpus hudsoni* (Imhof)), более устойчивых к условиям быстрого потока. Доминирующие по численности виды приведены в таблице 2.

2. Доминирующие по численности виды зоопланктона

Номера станций	Общее количество видов	Доминирующие виды*
0	9	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O. F. Müller), <i>Bosmina longirostris</i> (O. F. Müller), <i>Acroperus harpae</i> (Baird)
1	25	<i>Polyphemus pediculus</i> (Linnè), <i>Mesocyclops oithonoides</i> (Sars), <i>M. leuckarti</i> (Claus)
2	18	<i>Kellicottia longispina</i> , <i>Mesocyclops oithonoides</i> , <i>M. leuckarti</i>
3	19	<i>Kellicottia longispina</i> , <i>Mesocyclops oithonoides</i> , <i>M. leuckarti</i>
4	15	<i>Kellicottia longispina</i> , <i>Mesocyclops oithonoides</i> , <i>M. leuckarti</i>
5	3	<i>Bipalpus hudsoni</i> , <i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Müller), <i>Mesocyclops</i> (копеподитные стадии)
6	2	<i>Kellicottia longispina</i>

* К доминирующим видам зоопланктона относили виды, численность которых составляла 20% и более от суммарной.

Численность зоопланктона на исследованном участке реки варьировала от 15 до 21530 экз/м³, биомасса — от 0,04 до 1629,00 мг/м³ (табл. 3).

В верхнем течении реки обилие зоопланктона относительно невелико, что обычно для участков при отсутствии или значительном удалении от озер [6]. Наибольшие значения численности и биомассы зоопланктона выявлены в Кедрозере (ст. 1). По мере удаления от истока из озера значения количественных показателей планктонной фауны резко снижаются (см. табл. 3). Установлена экспоненциальная зависимость количества зоопланктона от расстояния от озера (рис. 2).

Получены следующие уравнения регрессии: для численности зоопланктона: $y = 13251e^{-0,0089x}$, $R^2 = 0,86$, $p = 0,0084$, где y — количество зоопланктона, экз/м³, x — расстояние от озера, м; для биомассы: $y = 2133e^{-0,015x}$, $R^2 = 0,99$, $p = 0,0001$, где y — биомасса зоопланктона, мг/м³, x — расстояние от озера, м.

Таким образом, на участке ниже озера численность зоопланктона снижается на 50% за 78 м, биомасса — на 50% за 47 м, то есть биомасса зоопланктона уменьшается быстрее, чем численность. По мере удаления от озера происходят изменения и в составе зоопланктона (табл. 2). В речном потоке быстрее выпадают относительно крупные ракообразные — *E. gracilis*, *Heterocope appendiculata* Sars, *P. pediculus* (Linnè), *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, *Sida crystallina* (O. F. Müller). Наибольшей устойчивостью к условиям потока обладают мелкие ракообразные и молодь копепод, а также панцирные колловратки (*K. longispina*, *B. hudsoni*), которые численно преобладают на уда-

3. Количественные показатели зоопланктона р. Лижмы

Группы зоопланктона	Номера станций						
	верхнее течение	Кедрозеро	нижнее течение				
	0	1	2	3	4	5	6
Rotatoria	5	380	3470	975	885	5	75
	0,9	7,27	15,98	7,50	1,74	0,02	0,04
Cladocera	105	19085	1705	965	165	5	—
	3,69	1598,40	324,00	135,60	14,50	0,08	
Copepoda	25	2065	5910	1055	245	5	—
	1,49	23,58	84,83	19,36	3,60	0,03	
Vcero	135	21530	11085	2995	1295	15	75
	5,20	1629,20	424,81	162,46	19,84	0,13	0,04

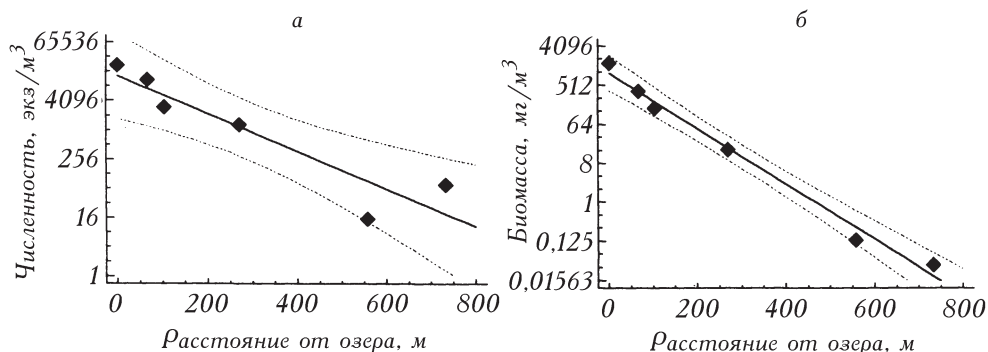
П р и м е ч а н и е. Над чертой — численность, экз/м³, под чертой — биомасса, мг/м³.

лении от озера. Скорость элиминации разных видов зоопланктонтов отличается. Полученные уравнения позволяют рассчитать, что лишь 5% численности озерного зоопланктона остается в реке на расстоянии 280 м от озера и 5% биомассы — при удалении на 172 м. Дальнейшее сокращение численности лимнического зоопланктона (до 1%) происходит на расстоянии 460 м от истока из озера, такое же снижение биомассы — при удалении на 280 м. Следовательно, лимнического зоопланктона практически не остается в речном потоке уже на расстоянии 300—500 м ниже истока.

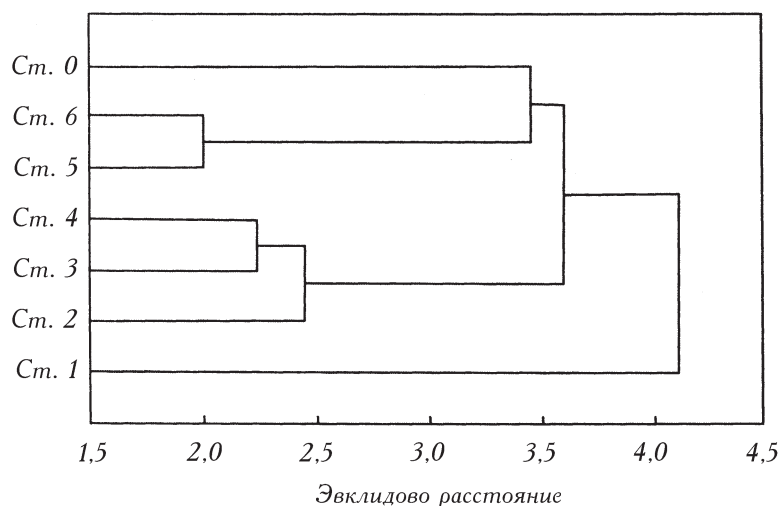
Для определения степени сходства зоопланктона на станциях ниже озера и на контрольной станции нами проведен кластерный анализ на основе присутствия/отсутствия видов в пробе, без учета численности (рис. 3).

Полученная схема показывает, что озерный зоопланктон (ст. 1) по составу значительно отличается от речного. Зоопланктон верхнего участка р. Лижмы (ст. 0) также отличался от зоопланктона нижнего речного участка даже на удалении от озера. Таким образом, при прохождении исследованного речного участка состав зоопланктона не полностью возвращается к состоянию, которое наблюдалось выше озер.

Анализ структуры донных сообществ в реке показал, что одной из причин элиминации озерного зоопланктона в речном русле, кроме высокой скорости течения и повышенного содержания минеральной взвеси, является массовое развитие фильтрующей донной фауны при многократном (более чем на порядок) увеличении обилия донных сообществ при переходе из озера в реку. По мере удаления от озера происходят уменьшение количества фильтрующих организмов и смена их состава. Так, на исследованном участке реки (ст. 3 и 4) с возрастанием скорости течения потока до 0,7 м/с в составе зообентоса увеличивается доля фильтраторов (личинки ручейников *Hydropsyche pellucidula* Curt., *H. siltalai* Doehler и мошек *Wilhelmia equina* (L.)), способных потреблять сносимый озерный зоопланктон. По численно-



2. Численность (а) и биомасса (б) зоопланктона в зависимости от расстояния от истока из озера. Пунктирной линией показан доверительный интервал средней ($p = 0,05$).



3. Дендрограмма сходства станций на основе кластерного анализа по присутствию/отсутствию вида.

сти эти три вида составляли 57,3%, по биомассе — 85,1% общих показателей зообентоса. На следующих станциях, по мере удаления от озера, наблюдается постепенное уменьшение роли фильтрующей фауны и возрастание доли собирателей и соскребателей.

Как известно, из озер в реки выносятся значительное количество зоопланктона [5, 18]. Степень его развития в речных системах зависит от ряда абиотических и биотических факторов, к числу которых относятся свет, температура, удаленность от истоков, скорость течения, концентрация фитопланктона, водная растительность и др. Установлено, что формирование потамопланктона происходит под воздействием собственно речных условий, главным образом течения воды и повышенного содержания в ней ми-

нерального сестона [14, 24]. Коловратки в составе потамопланктона текущих вод играют первостепенную роль, поскольку они, вследствие особенностей морфологического строения их организма, менее подвержены отрицательному воздействию течения [10].

Выполненные нами исследования показали, что по мере продвижения водной массы по речному руслу количество видов и количественные показатели зоопланктона резко снижаются, особенно за счет более крупных лимнических видов ракообразных и коловраток. Значительное уменьшение численности озерного планктона в водотоках уже отмечалось ранее [13, 17, 19, 20, 22]. Так, Д. К. Чандлер [18] на малых реках Северной Америки наблюдал уменьшение обилия планктона на 60—70% на отрезке 15—20 м. На р. Лижме снижение численности зоопланктона также было очень существенным — на расстоянии 500 м от озера его количество оказалось сопоставимым с таковым на верхнем ее участке. Динамика общей численности и биомассы зоопланктона зависит от количества и состава ракообразных. В первую очередь выпадают крупные особи, менее устойчивые к условиям повышенной проточности. Мелкие виды ракообразных, ювенильные стадии и панцирные коловратки лучше переносят условия потока. Значительное уменьшение количества зоопланктона на подобных речных участках происходит также вследствие массового развития фильтрующих донных беспозвоночных, способных потреблять зоопланктон, что подтверждено многими исследованиями [15, 20, 23].

Заключение

Проточное озеро оказывает существенное влияние на формирование видового состава и количественных показателей зоопланктона расположенного ниже участка реки. Вносимый в реку зоопланктон представляет собой доступный источник пищи для фильтрующей донной фауны и может обуславливать ее массовое развитие. По мере удаления от истока происходит закономерная элиминация лимнического зоопланктона, в основном за счет более крупных видов ракообразных и коловраток; в реке уже на расстоянии 500 м от истока его практически не остается.

**

Показано, що на порожистій ділянці річки нижче проточного озера відбувається закономірна елімінація лімнічного зоопланктону, яку можна описати експоненціальним рівнянням. Швидше від інших випадають крупні види ракоподібних і безпанцирних коловраток.

**

On the river rapids below lake outlet occurs a regular reduction of a lake zooplankton, which is described by exponential equation. Big individuals of Crustacea and Rotatoria disappear faster than other.

**

1. Веселов А.Е. Особенности поведения молоди пресноводного лосося *Salmo salar* L. morpha *sebago* Girard в реке Лижма (бассейн Онежского озе-

- ра) // Притоки Онежского озера. — Петрозаводск: Изд-во Карел. НЦ РАН, 1990. — С. 149—158.
2. Григорьев С.В., Фрейнглинг В.А., Харкевич Н.С. Озера и реки Карелии и их особенности // Фауна озер Карелии. — М.; Л.: Наука, 1965 — С. 21—24.
 3. Киселев И.А. Методы исследования планктона // Жизнь пресных вод СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР. — 1956. — Т. IV, Ч. I. — С. 183—265.
 4. Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Хренников В.В., Широков В.А. Методические рекомендации по изучению гидробиологического режима малых рек. — Петрозаводск: Изд-во Карел. фил. АН СССР, 1989. — 41 с.
 5. Круглова А.Н. Планктосток некоторых рек бассейна Онежского озера и его роль в питании молоди лососевых // Лососевые (Salmonidae) Карелии. — Петрозаводск: Изд-во Карел. фил. АН СССР, 1976. — С. 146—149.
 6. Круглова А.Н. Зоопланктон притоков Онежского озера // Лососевые нерестовые реки Онежского озера. — Л.: Наука, 1978. — С. 32—41.
 7. Круглова А.Н. Значение озерного зоопланктона в формировании кормовой базы озерно-речной системы р. Лижма (бас. Онежского озера) // Гидробиол. журн. — 1981. — Т. 4, № 1. — С. 28—33.
 8. Круглова А.Н. Видовое разнообразие и количественное обилие зоопланктона в истоке из озера // Материалы Всерос. конф. «Водные и наземные экосистемы: проблемы и перспективы исследований», г. Вологда, 24—28 нояб. 2008 г. — Вологда: Вологод. гос. пед. ун-т, 2008. — Т. 2. — С. 171—173.
 9. Куликова Т.П. Зоопланктон водных объектов бассейна Онежского озера. — Петрозаводск: Изд. Карельский НЦ РАН, 2007. — 223 с.
 10. Кутикова Л.А. Экология коловраток // Коловратки фауны СССР (Rotatoria) // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. — 1970. — Т. 104. — С. 124—138.
 11. Кучко Я.А. Влияние форелевого хозяйства на сообщество зоопланктона озерно-речной экосистемы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Петрозаводск, 2004. — 26 с.
 12. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 239 с.
 13. Телеш И.В., Павельева Е.Б., Чернова Г.Б. Современные представления о формировании потамопланктона // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. — 1987. — Т. 172. — С. 154—166.
 14. Фрейнглинг В.А. Гидрография водоемов бассейна р. Лижмы // Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. — Петрозаводск: Карел. кн. изд-во, 1969. — С. 236—245.
 15. Хренников В.В. Бентос притоков Онежского озера // Лососевые нерестовые реки Онежского озера. — Л.: Наука, 1978. — С. 41—50.
 16. Шустов Ю.А. Экология молоди атлантического лосося. — Петрозаводск: Карелия, 1983. — 153 с.
 17. Armitage P.D. A quantitative study of the invertebrate fauna of the River Tees below Cow Green reservoir // Freshwat. Biol. — 1976. — Vol. 6, N 3. — P. 229—240.
 18. Chandler David C. Fate of typical lake plankton in streams // Ecological monographs. — 1937. — Vol. 7, N 4. — P. 447—479.

19. *Georgian T.J.Jr., Wallace J.B.* A model of seston capture by net-spinning caddisflies // *Oikos*. — 1981. — Vol. 36. — P. 147—157.
20. *Hoffsten P.* Distribution of filter-feeding caddisflies (Trichoptera) and plankton drift in a Swedish lake-outlet stream // *Aquatic Ecology*. — 1999. — Vol. 33, N 4. — P. 377—386.
21. *Illies J.* Seeausfluss-Biozönosen lappländischer Waldbäche // *Entomol. Tidskr.* — 1956. — Vol. 77. — P. 138—153.
22. *Rief C.V.* The effect of stream conditions on the lake plankton // *Trans. Amer. Microscopical Soc.* — 1939. — Vol. 5. — P. 398—403.
23. *Spence J.A., Hynes H.B.N.* Differences in benthos upstream and downstream of an impoundment // *J. Fish. Res. Bd. Canada*. — 1971. — Vol. 28, N 1. — P. 35—43.
24. *Winner J.M.* *Zooplankton // River Ecology*. — Oxford e. a.: Blackwell Scientific Publications, 1975. — P. 155—169.

Институт биологии Карельского
НЦ РАН, Петрозаводск

Поступила 08.04.10