

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРТИЗАНСКОЙ ГРЭС  
НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ Р. ПАРТИЗАНСКАЯ  
И Р. КЛЮЧ ЛОЗОВЫЙ**

**Т.С. Вшивкова<sup>1</sup>, М.В. Омельченко<sup>1</sup>, Е.В. Бурухина<sup>2</sup>,  
Л.П. Самчинская<sup>3</sup>, Е.К. Сибирская<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Биолого-почвенный институт ДВО РАН, пр. 100 летия Владивостка, 159,  
Владивосток 690022 Россия. E-mail: trich@ibss.dvo.ru, frog@ibss.dvo.ru*

<sup>2</sup> *Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
ул. Луговая, 52б, Владивосток 690600, Россия. E-mail: burekaterina@yandex.ru*

<sup>3</sup> *Общественная экологическая детско-юношеская организация «Росток»,  
ул. Центральная, 15-19, г. Партизанск, Приморский край, 692853 Россия.  
E-mail: rostok@rostok.com*

Целью исследования явилось определение качества вод р. Партизанская и р. Ключ Лозовый после сброса золы, произошедшего в результате аварии на дамбе золоотвала Партизанской ГРЭС 22–23 мая 2004 г. Произведена комплексная оценка качества вод на фоновых и тестируемых участках водотоков по химическим, микробиологическим и гидробиологическим показателям, на основании которой сделано заключение о катастрофическом влиянии аварийного сброса золы на биоту р. Ключ Лозовый. Отмечено серьезное влияние и других источников загрязнения на качество вод р. Ключ Лозовый и р. Партизанская. При определении качества вод по биологическим показателям использованы современные методы экспресс-мониторинга, показана эффективность этих методов и обсуждаются перспективы их использования в российском государственном и общественном мониторинге.

**ESTIMATION OF PARTIZANSKAYA POWER STATION INFLUENCE  
AT ECOLOGICAL STATE OF PARTIZANSKAYA RIVER  
AND LOZOVYI STREAM**

**T.S. Vshivkova<sup>1</sup>, M.V. Omelchenko<sup>1</sup>, E.V. Burukhina<sup>2</sup>,  
L.P. Samchinskaya<sup>3</sup>, E.K. Sibirskaya<sup>3</sup>**

*Institute of Biology and Soil Sciences, Russian Academy of Sciences, Far East Branch, 100 letiya  
Vladivostok Avenue, Vladivostok 690022 Russia. Email: trich@ibss.dvo.ru, frog@ibss.dvo.ru;  
Far-Eastern State Technical Fisheries University, Lugovaya Str., 52b, Vladivostok 690600 Russia.  
E-mail: burekaterina@yandex.ru*

*Non-Government Environmental Junior Organization «Rostok», Zentralnaya Str., 15-19,  
Partizansk 692853, Primorskyi Region, Russia. E-mail: rostok@rostok.com*

The investigation of water quality and the estimation of different pollution sources' effect at the ecological state of Partizanskaya River and Lozovyi Stream carried out after the 22–23 May 2004 catastrophe at the Partizanskaya Power Station fly ash storage area. The complex research was based on chemical, microbiological and macrobenthos data which were estimated for reference and stressed sites. The serious effect of the accidental ash rush at the Lozovyi Stream freshwater biota has been documented as well as other water pollution point sources. The effectiveness of the Rapid Bioassessment methods is shown, and the methods are recommended to be employed widely by the federal government water quality monitoring as well as by social ecological organizations.

Р. Партизанская является одной из важных водных артерий южного Приморья, ее воды интенсивно используются как источник промышленных ресурсов для бытового и

технического водоснабжения, в рекреационных целях. До последнего времени р. Партизанская считалась одним из наименее загрязненных крупных водотоков Приморья, однако ее экологическое состояние в районе г. Партизанск в последние годы заметно ухудшилось. Ситуация усугубилась после катастрофы на дамбе золоотвала Партизанской ГРЭС, произошедшей 22–23 мая 2004 г., когда в р. Ключ Лозовый – правый приток р. Партизанская в результате аварийного сброса золы поступило более 80 тыс. т золы и золы пульпы (Вшивкова, 2004 а, б). В связи с этим Комитет природных ресурсов и экологии администрации Приморского края постановил провести оценку экологического состояния окружающей среды в районе аварии ряду природоохранительных и общественных организаций, в том числе научно-общественному координационному центру «Живая вода», работающему под патронажем Биолого-почвенного института ДВО РАН. В соответствии с данным постановлением НОКЦ «Живая вода» были приняты исследования по определению качества вод в районе катастрофы и выяснению последствий золы загрязнения. В задачи входило: 1) оценить качество вод рек Партизанская и Ключ Лозовый с помощью традиционных химических и микробиологических методов; 2) произвести биоиндикацию качества вод с помощью современных методов биологического мониторинга и оценить их эффективность и перспективность для использования в российском государственном и общественном мониторинге; 3) выявить относительное влияние аварийного сброса золы на биоту рек Ключ Лозовый и Партизанская.

#### **Район исследования и характеристика мест отбора проб**

Р. Партизанская берет начало на южных склонах осевого хребта Сихотэ-Алинь и протекает в юго-западном направлении. Близ г. Находка река впадает в зал. Америка Японского моря. Длина реки 142 км, площадь водосбора 4140 км<sup>2</sup>, средняя высота его 460 м, общее падение реки 920 м, средний уклон 6,5 ‰. Бассейн реки представляет собой горную систему со средними высотами 500–700 м, расположенную в пределах юго-западной окраины Сихотэ-Алиня. Наиболее высокие вершины поднимаются до 800–1300 м выше уровня моря. Около 70 % бассейна реки заняты смешанным лесом. По химическому составу вода реки относится к гидрокарбонатному классу с преобладанием ионов HCO<sub>3</sub>. Вода пригодна для питья и технических целей, но в паводки мутность воды сильно повышается. В нижней части р. Партизанская расположен крупный центр горнодобывающей промышленности г. Партизанск, в приустьевой части – крупный индустриально-промышленный центр г. Находка с населением около 150 тыс. человек. В 6 км ниже г. Партизанск из реки осуществляется водозабор для нужд г. Находка, воды реки также используются в водохозяйственных целях другими близлежащими населенными пунктами.

Р. Ключ Лозовый – правый приток р. Партизанская длиной около 17 км. По гидрологическому типу относится к предгорным водотокам умеренно холодноводного типа, к категории малых лососевых рек. В нижнем течении р. Ключ Лозовый протекает вблизи г. Партизанск и испытывает серьезную антропогенную нагрузку со стороны Партизанской ГРЭС и Партизанского пивзавода. Воды р. Ключ Лозовый впадают в р. Партизанская в 5 км выше Находкинского водозабора.

#### **Характеристика станций отбора проб и источники антропогенного загрязнения**

В районе исследований, кроме аварийного сброса золы с дамбы золоотвала Партизанской ГРЭС (источник загрязнения Г) (рис. 1), были установлены и другие точечные источники загрязнений: А – сбросы с водоема-охладителя Партизанской ГРЭС, Б – сбросы с прудов-отстойников Партизанской ГРЭС, В – сбросы сточных вод Партизан-

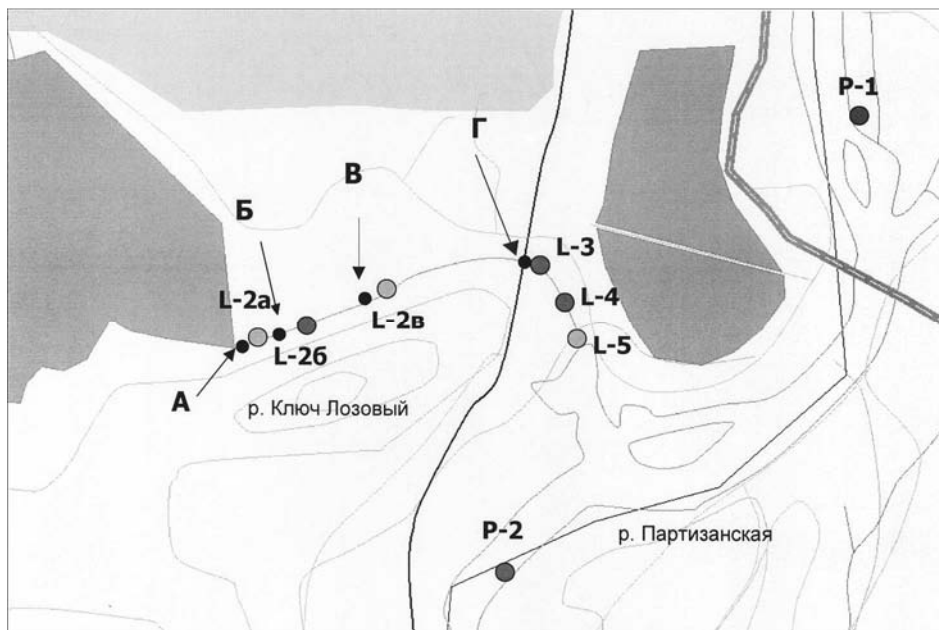


Рис. 1. Схема отбора проб на реках Ключ Лозовый и Партизанская.

А–Г – источники загрязнений: А – сбросы теплых вод с водоема-охладителя Партизанской ГРЭС; Б – сбросы вод с прудов-отстойников Партизанской ГРЭС; В – сбросы стоков Партизанского пивзавода; Г – место аварийного выброса золы с золоотвала Партизанской ГРЭС; P-1, P-2 – станции отбора проб на р. Партизанской; L-1, L-2a-в, L-3 – L-5 – станции отбора проб на р. Ключ Лозовый

ского пивзавода. Для определения относительного влияния указанных источников загрязнения на качество вод р. Ключ Лозовый станции отбора проб были установлены выше и ниже каждого из них; на р. Партизанская станции отбора проб установлены выше и ниже впадения в нее р. Ключ Лозовый (рис. 1).

### **Р. Ключ Лозовый**

*Станция L-1* (фоновая) – в 50 м выше пос. Несвоевка. Ширина 6–7 м. Средняя глубина 30–40 см. Грунт каменисто-галечный, преобладают крупные валуны. Развита прибрежная древесная растительность. Зеркало водотока не затенено. Скорость течения быстрая. Антропогенные источники загрязнения отсутствуют.

*Станция L-2a* – в 20 м ниже водосброса водоема-охладителя Партизанской ГРЭС. Ширина русла до 6–7 м. Каменисто-галечный грунт с преобладанием среднеразмерной гальки. Берега сильно зарастают травянистой растительностью, древесная растительность развита умеренно. Водоток не затеняется. Скорость течения быстрая. В холодное время года температура воды выше нормы из-за влияния теплых вод водоема-охладителя. Источник загрязнения – сброс теплых вод с водоема-охладителя Партизанской ГРЭС.

*Станция L-2б* – в 30 м ниже прудов-отстойников Партизанской ГРЭС. Ширина русла 5–7 м. Грунт каменисто-галечный с валунами. Большинство камней в русле покрыто мхом. На каменистых субстратах – космы зеленых водорослей. Развита высшая водная растительность и по берегам – травянистая растительность. Древесные насаждения представлены одиночно. Водоток не затенен. Скорость течения умеренная. Вода с запахом сероводорода, на дне хлопья гидрооксида железа. Источник загрязнения – сбросы вод с прудов-отстойников Партизанской ГРЭС.

*Станция L-2в* – в 10 м ниже сбросов Партизанского пивзавода. Каменисто-галечный грунт. Древесная растительность отсутствует, водоток хорошо освещен. Ширина русла 10 м. На камнях серый налет, сильно развиты бактериальные обрастания. Вода с

сильным сероводородным запахом, мутная. Водоток не затенен. Скорость течения быстрая. Основной источник загрязнения – сбросы Партизанского пивзавода.

*Станция L-3* – в районе аварийного сброса золы в 10 м ниже железнодорожного моста. Ширина русла 7 м. Грунт каменисто-галечный. На дне отложения золы серо-голубого цвета до 2–3 см толщиной, в затишных местах толще. Скорость течения быстрая. Водоток не затенен. На донных субстратах обильно развиты бактериальные обрастания. Вода мутная, с запахом сероводорода. Основной источник загрязнения – отложения золы после аварийного сброса золы в пульпу.

*Станция L-4* – в 150 м ниже аварийного сброса золы в пульпу. Ширина 6–7 м. Дно покрыто толстым слоем золы толщиной 10–20 см и более; в некоторых местах толщина золных отложений более 50 см. Источник загрязнения – отложения золы, а также другие, расположенные выше, источники загрязнения.

*Станция L-5* – в устье ручья, в 300 м ниже сброса золы в пульпу. Ширина 7–10 м. Вода мутная, с сероводородным запахом. На дне толстые отложения темно-серого цвета. Отмечена цветная пленка на поверхности воды. Водоток не затенен. Источники загрязнения – отложения золы и перечисленные выше источники загрязнения.

### ***Река Партизанская***

*Станция P-1* – в 300 м выше впадения р. Ключ Лозовый, левый берег. Ширина русла 45–50 м. Грунт каменисто-галечный. Глубина отбора донных проб до 30–40 см; глубина водотока на стремнине более 1 м. Источники загрязнения отсутствуют.

*Станция P-2* – в 500 м ниже впадения р. Ключ Лозовый. Ширина русла 25–30 м. Глубина отбора донных проб 40–45 см. Грунт каменисто-галечный на песчаной подстилке. По берегам имеются отложения золы. При отборе проб методом принудительного дрейфа 29 мая и 29 июня 2004 г. наблюдалось появление со дна взвеси характерного для золы серо-голубого цвета, ощущался слабый запах сероводорода. Вода прозрачная. Скорость течения быстрая. Вероятный источник загрязнения – загрязненные воды р. Ключ Лозовый.

*Станция P-3* – у пос. Перетино, в 5 км ниже впадения р. Ключ Лозовый, левый берег. Ширина русла 30–40 м. Глубина отбора донных проб 40 см. Грунт гравийно-галечный с песком, при перемешивании гальки 29–30 мая 2004 г. появлялась взвесь серо-голубого цвета, характерного для золы; по берегам отмечались следы золы в виде серо-голубых разводов. Источники возможного загрязнения – аварийный сброс золы, загрязненные воды р. Ключ Лозовый, бытовые стоки г. Партизанск и близлежащих поселков.

Температура воды в реках Партизанская и Ключ Лозовый по станциям и датам отбора проб показана в табл. 2.

## **Материал и методы**

Отбор проб производился в течение трех серий: I серия – 25 мая, 29–30 мая 2004 г.; II серия – 29–30 июня 2004 г.; III серия – 22 ноября 2004 г. Отбор проб I серии произведен на станциях: L-2в, L-3, L-4; P-1, P-3, P-4. Сетка отбора проб во время II и III серий была расширена вследствие включения в рамки исследования других, кроме сброса золы, источников загрязнения. В соответствии с этим были установлены дополнительные станции отбора проб – L-1, L-2а, L-2б, L-5, P-2 (рис. 1).

*Химические пробы.* Пробы I серии отбирались инспекторами Партизанского отделения Приморьбвода, II и III серии – сотрудниками лаборатории пресноводной гидробиологии БПИ ДВО РАН по стандартным методикам. Анализ проб проведен в химической лаборатории Центра по мониторингу за загрязнением окружающей среды Приморского края.

Оценка превышения ПДК и заключение о состоянии качества вод сделаны в ЦМС на основе данных этих анализов.

*Микробиологические пробы.* Пробы отбирались по стандартным методикам дважды – во время I и III серии. Анализ проб осуществлялся в лаборатории микробиологии Центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора в г. Владивосток.

Оценивалось эколого-санитарное состояние вод по показателям численности бактерий группы кишечной палочки и численности термотолерантных бактерий. Классификация качества вод производилась по «Комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши» (Шитников и др., 2003).

*Гидробиологические пробы.* Анализ качества вод по биологическим показателям основывался на использовании организмов макробентоса. Пробы отбирались дважды во время I и II серии. Качественные пробы бентоса отбирались непосредственно с поверхности каменистых субстратов. Отбор количественных проб осуществлялся: а) бентометром Леванидова (Леванидов, 1976); б) методом принудительного дрефта (с помощью донного сачка и ручного экрана), который широко используется в государственном мониторинге США (Barbour et al., 1999). Метод принудительного дрефта можно считать количественным при условии, если дрефтующие организмы отбираются в течение определенного времени (в данном случае в течение 3 мин) и на участке водотока определенной длины (в данном случае на участке длиной в 3 м). Таким образом, хотя данный метод не позволяет произвести пересчет численности организмов на  $1 \text{ м}^2$ , вполне можно сравнивать относительную численность групп и таксонов как в пробе, так и между пробами (по количеству экземпляров в пробе или по их процентному соотношению).

Пробы отбирались на каждой станции в двух повторностях. Одновременно учитывались основные абиотические и биотические факторы среды.

Материал сортировали в лабораторных условиях до групп организмов, затем для видового определения материал был передан специалистам БПИ ДВО РАН: моллюски – М.О. Засыпкиной и Л.А. Прозоровой, ракообразные – Сидорову Д.В., водные клещи – К.А. Семенченко, поденки – Т.М. Тиуновой, веснянки – В.А. Тесленко, ручейники – Т.С. Вшивковой, двукрылые Chironomidae – О.В. Зориной. Олигохеты, нематоды, планарии, двукрылые (кроме типолоидных и хирономид) до семейств не определялись.

Используемые в данной работе показатели по макробентосу представляют простые метрики общей или относительной численности основных и индикаторных групп организмов. Исключение составляет индекс FBI (Family Biotic Index), который рассчитывался по формуле:

$$\text{FBI} = \sum x_i t_i / n,$$

где  $x_i$  – количество экземпляров ( $x$ ) в отдельном семействе ( $i$ ),  $t_i$  – толерантное значение  $i$ -го семейства (по Hilsenhoff, 1988, в модификации Lenat, 1994),  $n$  – общее число организмов в пробе.

Оценочный критерий для показателя  $N_t$  (общее число таксонов) представляет модификацию стандартного показателя Taxa Richness для предгорных водотоков Северной Каролины (Lenat, 1994), адаптированного нами для условий отбора проб по данным одной-двух серий при определении основных групп водных беспозвоночных «до вида», за исключением таких групп, как олигохеты, клещи и пиявки, которые в этом случае рассматриваются как 1 таксон.

При оценке загрязнений водотоков использована хорошо зарекомендовавшая себя группа индикаторных организмов амфибиотических насекомых из отрядов Ephemeroptera (поденки), Plecoptera (веснянки) Trichoptera (ручейники), которую выделяем под общим названием ЕРТ, представляющим аббревиатуру латинских названий этих отрядов.

Классификация качества вод по показателям макробентоса основывалась на критериях, разработанных старшим автором при изучении закономерностей продольного распределения водных беспозвоночных и донных сообществ в водотоках юга Дальнего Востока, которые частично опубликованы в литературе (Вшивкова, 1987а,б; Vshivkova, 1991; Vshivkova, Nikulina, 1996, 1998). Кроме того, использованы критерии классифика-

ции качества вод Северной Каролины (США), модифицированные к условиям водотоков Китая (Lenat, 1994), основанные на 5-балльной оценочной системе: Е – вода очень чистая; G – вода чистая; G-F – вода слабо загрязненная (удовлетворительно чистая); F – вода загрязненная; P – вода грязная.

### Результаты и обсуждение

#### I. Оценка качества вод по химическим показателям

Результаты анализа проб воды от 25 мая 2004 г. (спустя 3 дня после аварийного сброса золы) (табл. 1) показали превышения ПДК по следующим показателям.

Таблица 1

Результаты химического анализа проб воды на станциях рек Партизанская и Ключ Лозовый

Наименование ингредиентов, размерность	Номера точек отбора проб							ПДК, р/х
	P-1	P-2	P-3	P-4 приустьевая часть	L-2в	L-3	L-5	
pH	<b>6,10</b>	<b>6,40</b>	<b>5,90</b>	6,80	6,60	7,95	<b>6,40</b>	6,5-8,5
XПК, мг О/л	3,0	4,0	3,5	<b>19,4</b>	4,5	<b>48,9</b>	3,5	15,0
Аммонийный азот, мг/л	0	0,07	0,19	<b>1,38</b>	0,10	0	0,15	0,50
Фосфаты, мг P/л	0,010	0,199	0,013	<b>0,395</b>	0,008	0,069	0,019	0,200
Медь, мг/л	<b>0,002</b>	0,001	0,001	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>	0,001	0,001
Цинк, мг/л	<b>0,027</b>	<b>0,033</b>	<b>0,032</b>	<b>0,033</b>	<b>0,027</b>	<b>0,037</b>	<b>0,032</b>	0,010
Никель, мг/л	0	0	0	0	0	0	0	0,010
Свинец, мг/л	0	0	0	0	0	0	0	0,006
Кобальт, мг/л	0	0	0	0	0	0	0	0,010
Кадмий, мг/л	0	0,001	0	<b>0,007</b>	0	0,003	0	0,005
Алюминий, мг/л	0,006	<b>0,044</b>	0,015	0,005	0,005	0,005	0,011	0,040
Марганец, мг/л	0,004	<b>0,027</b>	<b>0,015</b>	<b>0,017</b>	0,006	<b>0,120</b>	<b>0,019</b>	0,010
Фториды, мг/л	0,20	0,37	0,20	0,34	0,20	<b>6,06</b>	0,52	<0,75
Ртуть, мг/л	0	0	<b>0,0006</b>	-	0	-	<b>0,0021</b>	0,0001
Мышьяк, мг/л	<0,005	0,006	0,008	<0,005	<0,005	<b>0,064</b>	0,021	0,050

#### Р. Ключ Лозовый

1. Станция L-2в (выше аварийного сброса золы): превышение ПДК по меди в 3 раза, по цинку в 2,7 раза.

2. Станция L-3 (место аварийного сброса золы): вода загрязнена трудноокисляемыми органическими веществами (превышение ПДК по ХПК почти в 3 раза), марганцем (12 ПДК), фторидами (8 ПДК) и мышьяком (1,3ПДК). Превышение ПДК по меди в 3 раза, по цинку в 3,7 раза. Возможно превышение ПДК по ртути, но определить концентрацию этого элемента сложно из-за большого содержания трудноокисляемых органических веществ.

3. Станция L-5 (300 м ниже аварийного сброса золы): превышение марганца, цинка, и существенное превышение ртути (21 ПДК); большое количество мышьяка и фторидов.

#### Р. Партизанская

4. Станция P-1 (выше впадения р. Ключ Лозовый): снижение pH ниже нормы и превышение ПДК по меди в 2 раза, по цинку в 2,7 раза.

5. Станция P-2 (в 100 м ниже впадения р. Ключ Лозовый): снижение pH ниже нормы и превышение ПДК по цинку в 3,3 раза, некоторое превышение ПДК по алюминию и марганцу.

6. Станция Р-3 (5 км ниже впадения р. Ключ Лозовый): снижение рН ниже нормы и превышение по цинку в 3,2 раза, по марганцу в 1,5 раза, по ртути в 6 раз, в воде обнаружен мышьяк.

Таким образом, влияние аварийного сброса золы отчетливо проявляется в р. Ключ Лозовый в виде превышения марганца, фторидов и значительного превышения мышьяка; даже в р. Партизанская в 5 км ниже зоны аварии обнаружен мышьяк, хотя ранее на постоянном створе ЦМС мышьяк не отмечался. Кроме того, отмечены значительные превышения ПДК по ртути в реках Ключ Лозовый и Партизанская ниже района аварии, что, очевидно, также связано с аварийным сбросом золы.

Влияние других источников загрязнения, в частности сбросов Партизанского пивзавода, четко отмечается по значительному превышению ХПК на станции L-3.

## II. Оценка качества вод по микробиологическим показателям

Результаты анализа проб воды от 30 мая и 23 ноября 2004 г. (табл. 2) показали следующее:

Таблица 2

### Результаты микробиологического анализа вод рек Партизанская и р. Ключ Лозовый в районе Партизанской ГРЭС (по общему числу колиформных бактерий и количеству термотолерантных бактерий в 100 мл)

Дата отбора проб	Станция отбора проб								
	Р. Партизанская		Р. Ключ Лозовый						
	Р-1	Р-2	L-1	L-2а	L-2б	L-2в	L-3	L-4	L-5
II серия (30 июня 2004 г.)									
Общее число колиформных бактерий	0	-	0	3900	2400	Более 110000	-	Более 110000	-
Число термотолерантных бактерий	0	-	0	3900	2400	Более 110000	-	Более 110000	-
Температура воды, °С	18	24	18	26	27	28	25.5	24	19
Разряды качества воды	Чистая	-	Чистая	Умеренно загрязненная	Умеренно загрязненная	Предельно грязная	-	Предельно грязная	-
III серия (23 ноября 2004 г.)									
Общее число колиформных бактерий	930	2400	0	< 500	11000	460000	1100000	2400	4600
Температура воды, °С	-	-	-	-	-	17	15-16	-	-
Разряды качества воды	Слабозагрязненная	Умеренно загрязненная	Чистая	Достаточно чистая	Весьма грязная	Предельно грязная	Предельно грязная	Умеренно загрязненная	Умеренно загрязненная
Классы качества воды	II-III	IV	I-II	III-IV	IV-V	V	V	IV-V	IV

Примечание. Прочерк - пробы не отбирались, «0» – значительно меньше 1000.

### Р. Ключ Лозовый

1. Станция L-1: микробиологические показатели в норме.
2. Станция L-2а: заметное загрязнение вод органическими веществами отмечено ниже сброса вод с водоема-охладителя – превышение ПДК в 3,9 раза в летнее время; в ноябре качество вод в норме.
3. Станция L-2б: воды с прудов-отстойников ухудшают качество вод, что особенно заметно в холодное время года: превышение ПДК летом в 2,4 раза, в конце ноября в 11 раз.





Таксоны	Р. Партизанская			Р. Ключ Лозовый						
	Станции									
	P-1	P-2	P-3	L-1	L-2a	L-2б	L-2в	L-3	L-4	L-5
Семейство Ephemeraeidae	3	1	2	-	-	-	-	-	-	-
Семейство Siphonuridae	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Семейство Potamanthidae	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Семейство Ephemereillidae	10	4	5	6	2	-	-	-	-	-
Семейство Heptageniidae	4	4	4	4	1	1	1	-	-	1
Семейство Baetidae	4	3	3	3	2	-	-	-	-	-
Семейство Leptophlebiidae	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Семейство Caenidae	1	1	1	-	1	-	-	-	-	-
Отряд Веснянки										
Семейство <b>Pteronarcyidae</b>	-	-	-	(1)	-	-	-	-	-	-
Семейство <b>Perlodidae</b>	2	1	1	1	-	-	-	-	-	-
Семейство Perlidae	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-
Семейство Chloroperlidae	1	-	1	2	-	-	-	-	-	-
Семейство Nemuridae	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Семейство Leuctridae	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Отряд Стрекозы	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-
Отряд Жесткокрылые	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Отряд Ручейники										
Семейство Rhyacophilidae	1	1	1	2	-	-	-	-	-	-
Семейство Stegopterygidae	1	1	1	2	1	-	-	-	-	-
Семейство Arctopterygidae	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Семейство Hydropsychidae	2	1	2	2	2	-	-	-	-	-
Семейство Psychomyiidae				1						
Семейство Glossosomatidae	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Семейство Limnephilidae	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-
Семейство Uenoidae	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Семейство Goeridae	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Семейство Lepidostomatidae	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Семейство Leptoceridae	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Отряд Двукрылые										
Семейство Tipulidae	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Семейство Simuliidae	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-
Семейство Ceratopogonidae	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Другие Diptera	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-
Семейство Chironomidae										
Подсем. Diamesinae	3	-	5	1	-	1	-	-	-	-
Подсем. Tanypodinae	2	2	5	3	3	2	-	-	-	-
Подсем. Orthoclaadiinae	18	4	13	9	4	8	-	1	-	-
Подсем. Chironominae	18	4	20	6	9	7	-	1	-	-
ВСЕГО ТАКСОНОВ:	87	36	87	60	32	25	5	5	(1)	5

Примечание. (1) – организмы представлены единично.

Гидробиологический материал анализировался по 10 показателям (табл. 4, 5), включающим оценку изменения таксономического богатства (А1-А3), общей численности (Б1-Б2) или относительной численности отдельных групп организмов (В1-В-3). Кроме того, был рассчитан биотический индекс FBI, основанный на толерантных свойствах

Оценка качества вод на 3 станциях р. Партизанская и 7 станциях р. Ключ Лозовый по показателям видового богатства и относительной численности групп водных беспозвоночных

Показатель	Р. Партизанская			Р. Ключ Лозовый					
	Станции								
	P-1	P-2	P-3	L-1	L-2а	L-2б	L-2в	L-3	L-4
Общее количество таксонов ( $N_t$ )	87	37	83	60	30	26	7	5	1
Количество семейств ( $N_f$ )	28	20	23	26	16	10	7	5	1
Количество таксонов ЕРТ ( $N_{\text{ЕРТ}}$ )	33	19	28	34	10	3	1	0	0
<b>Классификация вод</b>	<b>G</b>	<b>G-F</b>	<b>G</b>	<b>G</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>
<i>Ручной экран (N экз. в пробе)</i>									
Общее число организмов ( $N_{\text{экз}}$ )	$\frac{569}{379}$	- 193	$\frac{468}{164}$	- 359	- 376	$\frac{928}{587}$	- 184	$\frac{1}{208}$	0 0
Число организмов ЕРТ ( $N_{\text{ЕРТ}}$ )	$\frac{368}{338}$	- 83	$\frac{164}{128}$	- 272	- 242	$\frac{2}{51}$	- 26	0;0	$\frac{0}{0}$
<i>Донный сачок (N экз. в пробе)</i>									
Общее число организмов ( $N_{\text{экз}}$ )	$\frac{179}{115}$	- 243	$\frac{442}{150}$	- 132	- 514	$\frac{242}{227}$	- 225	$\frac{13}{134}$	0 1
Число организмов ЕРТ ( $N_{\text{ЕРТ}}$ )	$\frac{118}{108}$	- 168	$\frac{318}{96}$	- 81	- 434*	$\frac{0}{11}$	- 11	0 7	0 0
<b>Классификация вод</b>	<b>G</b>	<b>G</b>	<b>G</b>	<b>G</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>

\* Основное количество организмов (430 экз.) принадлежит ручейникам Hydropsychidae, массово развивающихся при тепловом загрязнении, поденки и веснянки представлены единично.

Примечание. В числителе – данные I серии, в знаменателе – II серии.

организмов, и проанализирована структура сообществ по относительной численности основных групп донных организмов (рис. 2–4).

#### Оценка качества вод по показателям таксономического богатства

**A1. Общее число таксонов ( $N_t$ ).** Уменьшение общего числа таксонов (снижение биоразнообразия), как правило, свидетельствует об ухудшении качества воды. Значения  $N_t$  от 70 и выше (в области ритрала) – характеризуют воду превосходного качества (G), от 70 до 60 – хорошего качества (G), от 50 до 60 – удовлетворительного (G-F), от 50 до 30 – относительно удовлетворительного качества (F). При показателе ниже 30 – качество воды расценивается как плохое (P). Ситуация при числе таксонов ниже 10 свидетельствует о серьезной деградации сообществ.

Таким образом, на основе данного показателя качество воды на станциях P-1, P-3 и L-1 можно оценить как «хорошее» (G), на станции P-2 – «относительно удовлетворительное» (F), на остальных станциях – как «плохое» (табл. 4).

**A2. Количество семейств ( $N_f$ ).** Данный показатель, как и общее число таксонов ( $N_t$ ), также характеризует уровень развития биоразнообразия, но, в отличие от  $N_t$ , более точно оценивает экологическое состояние водотока (ведь общее количество таксонов может быть относительно высоким и в загрязненном водотоке при развитии большого числа толерантных к загрязнениям видов, тогда как большое количество таксонов высокой категории однозначно свидетельствуют об удовлетворительной экологической обстановке). В условиях ритрала значения данного показателя от 25 и выше характеризует хорошее качество воды, от 16 до 20 – удовлетворительное, ниже 15 указывает на значительный антропогенный импакт.

По этому показателю воды р. Партизанская на станциях P-1 и P-3, а также на фоновой станции р. Ключ Лозовый можно охарактеризовать, как чистые, тогда как на других

Таблица 5

## Оценка качества вод на 3 станциях р. Партизанская и 6 станциях р. Ключ Лозовый по показателям относительной численности групп и индексу FBI

Показатель	Р. Партизанская			Р. Ключ Лозовый					
	Станции								
	P-1	P-2	P-3	L-1	L-2а	L-2б	L-2в	L-3	L-4
<i>Ручной экран (N экз. в пробе)</i>									
$N_{EPT}/N_{экз}$	$\frac{0,65}{0,89}$	-	$\frac{0,35}{0,78}$	-	-	$\frac{0,002}{0,007}$	-	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
$N_{EPT}/N_{Ch}$	$\frac{2,27}{10,5}$	-	$\frac{0,79}{8,0}$	-	-	$\frac{0,005}{0,12}$	-	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
$N_{Ch}/N_{экз}$	$\frac{0,28}{0,08}$	-	$\frac{0,44}{0,01}$	-	-	$\frac{0,39}{0,72}$	-	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
<i>Донный сачок (N экз. в пробе)</i>									
$N_{EPT}/N_{экз}$	$\frac{0,66}{0,94}$	-	$\frac{0,72}{0,64}$	-	-	$\frac{0}{0,05}$	-	$\frac{0}{0,05}$	$\frac{0}{0}$
$N_{EPT}/N_{Ch}$	$\frac{2,31}{36,0}$	-	$\frac{3,74}{2,09}$	-	-	$\frac{0}{0,05}$	-	$\frac{0}{0,05}$	$\frac{0}{0}$
$N_{Ch}/N_{экз}$	$\frac{0,28}{0,03}$	-	$\frac{0,19}{0,31}$	-	-	$\frac{0,21}{0,89}$	$\frac{0}{0,93}$	$\frac{0,38}{0,94}$	$\frac{0}{0}$
Индекс FBI (ручной экран)	3,54	-	3,96	-	-	7,59	8,00	0	0
Индекс FBI (донный сачок)	2,86	-	3,97	-	-	7,99	8,33	> 10	> 10
Оценка вод по FBI	<b>G</b>	-	<b>G</b>	-	-	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>
Комплексная оценка качества вод по гидробиологическим показателям	<b>G</b>	<b>G-F</b>	<b>G</b>	<b>G</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>

Примечание. В числителе – данные I серии, в знаменателе – II серии.

участках они в той или иной мере загрязнены (табл. 4). Причем серьезные загрязнения вод отмечаются на станциях L-2б и L-2в, где донные сообщества характеризуются высокой степенью деградации. На станциях L-3 и L-4, в районе сброса золы, ситуацию можно назвать катастрофической, так как донные организмы здесь в мае практически отсутствовали, а 29–30 июня обнаружены лишь немногочисленные представители двух видов хирономид (ст. 3) или единичные брюхоногие моллюски рода *Lymnaea* (ст. 4).

**A3. Количество таксонов EPT ( $N_{EPT}$ ).** Данный показатель – одна из ярких характеристик экологического состояния водооков. Значения  $N_{EPT}$  от 24 и выше в условиях ритрала характеризуют хорошее экологическое состояние биоценозов, значения ниже 10 – наличие существенного импакта и воды очень плохого качества; полное отсутствие EPT свидетельствует о катастрофических изменениях в биоценозе.

На станциях р. Ключ. Лозовый, расположенных ниже сбросов с прудов-отстойников Партизанской ГРЭС, показатель  $N_{EPT}$  сильно снижается – до одного-трех таксонов. Ниже сбросов пивзавода единично встречаются поденки Neptageniidae. Ниже места аварийного сброса золы организмы EPT не обнаружены, что подтверждает катастрофическую деградацию донных биоценозов, произошедшую в результате аварийного зольного сброса.

*Оценка качества вод по показателям численности*

**B1. Общее число организмов ( $N_{экз}$ ).** Снижение данного показателя обычно свидетельствует об ухудшении условий обитания гидробионтов, хотя в случае теплового и органического загрязнений общее число экземпляров может значительно увеличиваться по сравнению с фоном за счет развития теплолюбивых организмов, таких как ручейники

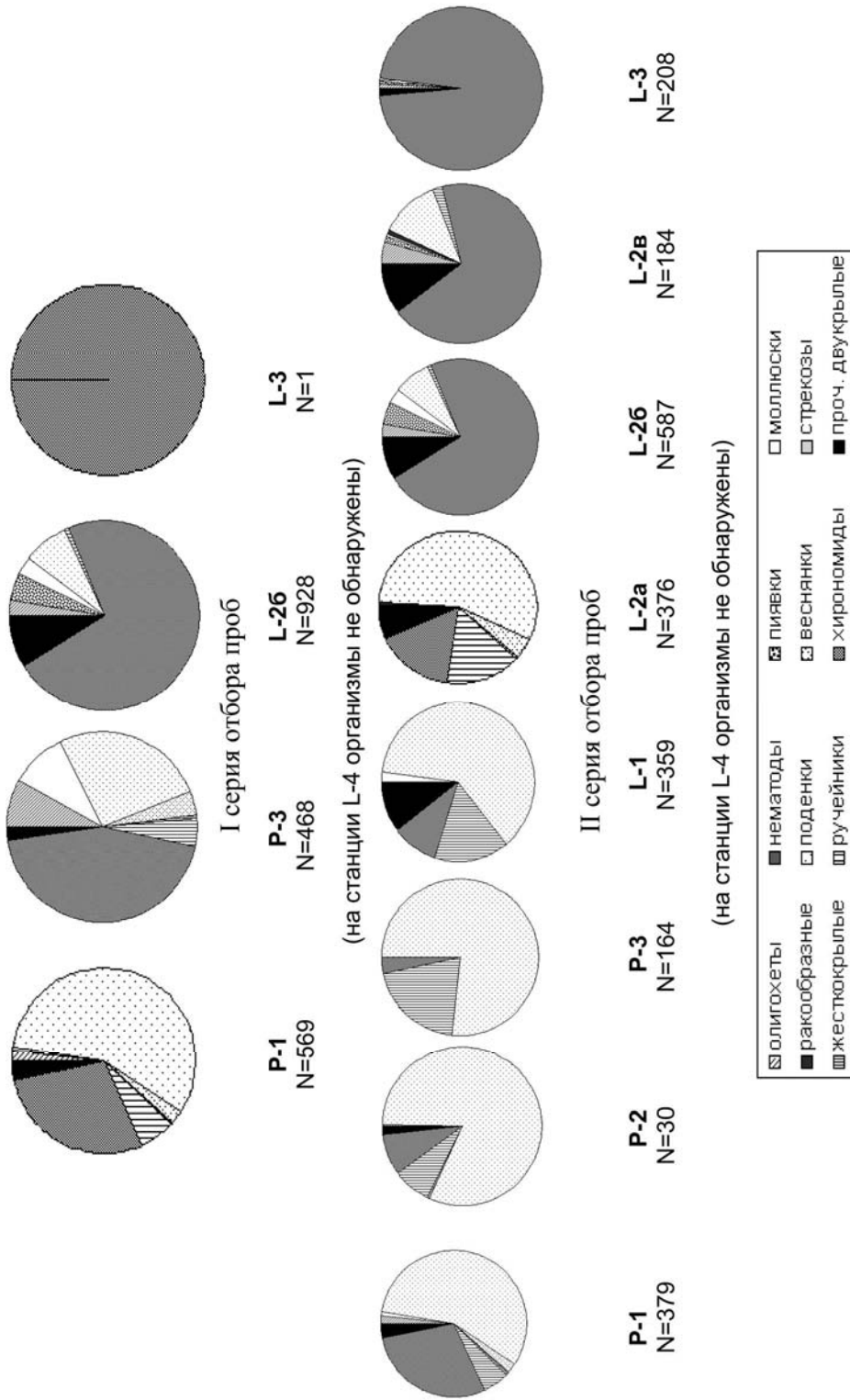


Рис. 2. Относительная численность групп водных беспозвоночных по данным проб, отобранных ручным экраном

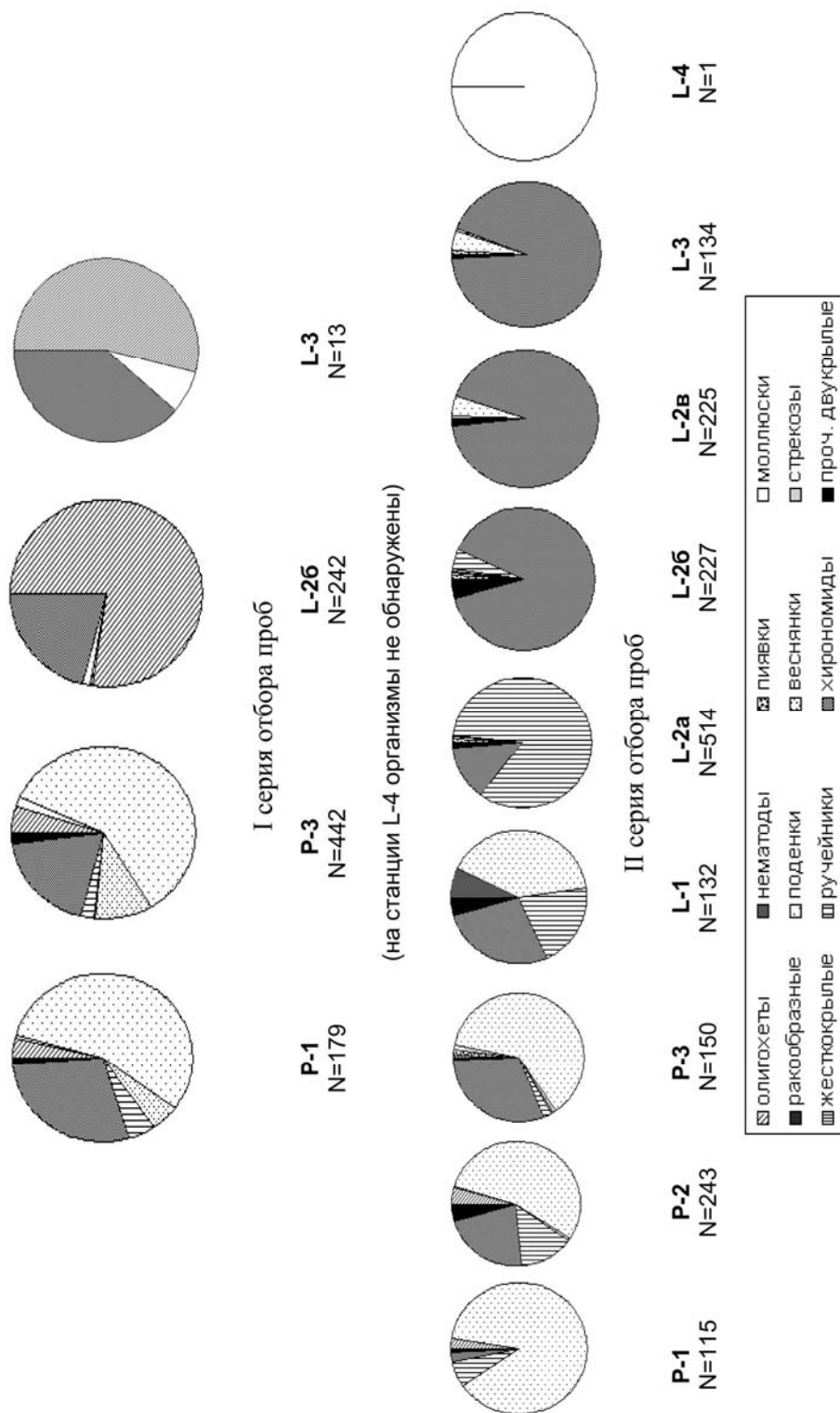


Рис. 3. Относительная численность групп водных беспозвоночных по данным проб, отобранных донным сачком

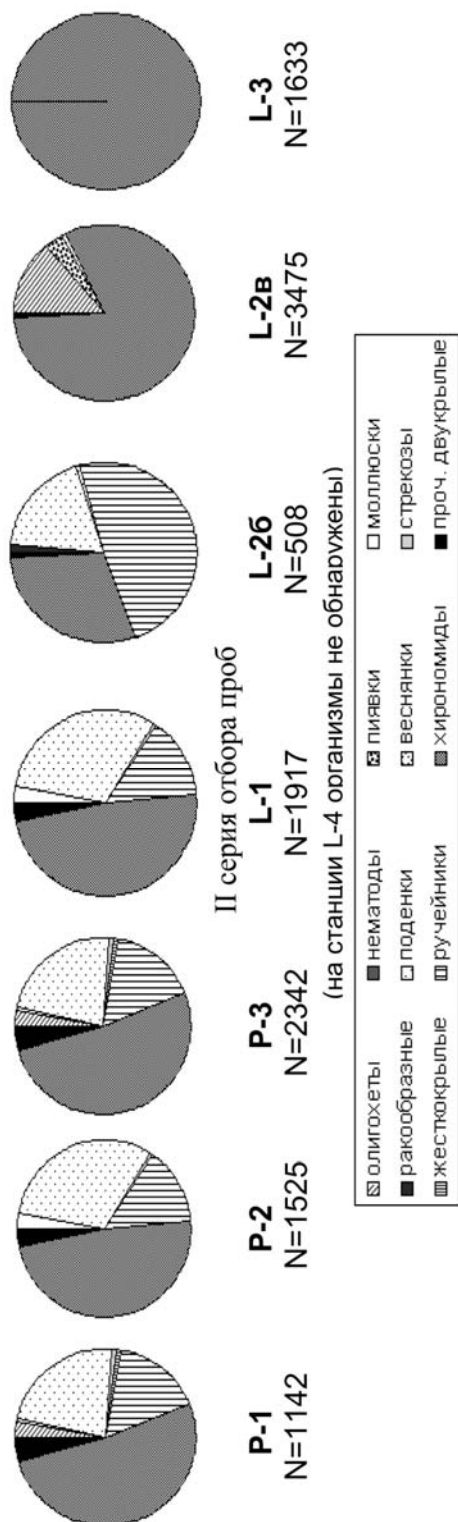


Рис. 4. Относительная численность групп водных беспозвоночных, по данным проб, отобранных бентометром Леванидова

семейства Hydropsychidae – классический показатель теплового загрязнения, или увеличения числа организмов олигохетно-хирономидного комплекса – показателя органических загрязнений.

На тестируемых станциях р. Партизанская общее число организмов бентоса несколько ниже, чем на фоновой; заметное снижение общего числа организмов отмечено на станциях P-2, что может быть связано с влиянием загрязненных вод р. Ключ Лозовый (табл. 4). На р. Ключ Лозовый после поступления сбросов Партизанского пивзавода общая численность организмов снижается за счет элиминации оксифильных организмов, сообщество представлено в основном хирономидно-олигохетным комплексом. На станции L-3 29 мая обнаружено лишь 2 экз. хирономид *Cricotopus bicinctus*; месяц спустя после расчистки дна от золовых отложений общая численность организмов на этой станции увеличилась за счет развития толерантных к загрязнениям олигохет и хирономид. В местах, где зола не была убрана (станция L-4), организмы бентоса не обнаружены и месяц спустя, за исключением единичных *Lymnaea* sp.

**Б2. Число организмов ЕРТ ( $N_{ЕРТ}$ ).** Высокое число организмов ЕРТ является показателем хорошего экологического состояния быстротоков, следует только обращать внимание на относительную долю элементов составляющих групп, так как некоторые группы ручейников (Hydropsychidae) или поденок (некоторые виды Heptageniidae) могут давать высокую численность при тепловом загрязнении, как, например, это можно видеть на станции L-2a, где максимальное число  $N_{ЕРТ}$  (514 экз. в пробах ручного экрана и 434 экз. - донного сачка) во II серии отбора проб является свидетельством теплового загрязнения за счет развития фильтрующих гидропсихид (табл. 4). В целом данный показатель резко снижается на р. Ключ Лозовый ниже сбросов с прудов-отстойников и пивзавода, когда

в водоток начинают поступать значительные органические загрязнения. В месте сброса золы и концентрации золовых отложений представители комплекса ЕРТ отсутствуют.

**В-1. Отношение  $N_{\text{EPT}}/N_{\text{экз}}$ .** Когда доля группы EPT в общем числе организмов больше 0,5, это свидетельствует о хорошем или более-менее удовлетворительном состоянии донных сообществ. При тепловых загрязнениях данный показатель может повышаться за счет развития термофильных видов ручейников-хидропсихид. Значения данного показателя ниже 0,5, как правило, можно рассматривать как сигнал об экологическом неблагополучии донных сообществ.

В р. Ключ Лозовый ниже сбросов вод с прудов-отстойников данный показатель чрезвычайно низок, что свидетельствует о серьезном антропогенном импакте.

**В-2. Отношение  $N_{\text{EPT}}$  к  $N_{\text{Сh}}$ .** Высокие значения данного показателя, как правило, свидетельствуют о благополучии сообществ (за исключением уже упомянутых случаев массового развития ручейников хидропсихид при тепловых загрязнениях). Низкие значения  $N_{\text{EPT}}/N_{\text{Сh}}$  (ниже 0,5) являются показателем серьезного загрязнения водотоков органическими или токсическими субстанциями. Низкие значения этого показателя на станциях р. Ключ Лозовый, расположенных ниже сбросов вод с прудов-отстойников и ниже пивзавода, свидетельствуют о значительном загрязнении органикой.

**В-3. Отношение  $N_{\text{Сh}}$  к  $N_{\text{экз}}$ .** Высокая доля хирономид в сообществах ритрала горных и предгорных водотоков (выше 0,5) часто является показателем органических загрязнений, что отчетливо наблюдается на станциях L-2б и L-2в (табл. 5). На станции L-3, практически «мертвой» после аварии, месяц спустя, после расчистки этого участка от золы, отмечено резкое увеличение численности хирономид, развивающихся в бактериальной среде. Сообщество хирономид представлено здесь, правда, только двумя видами, *Cricotopus bicinctus* и *Polypedilum* sp.

#### *Оценка качества вод на основе толерантных свойств беспозвоночных*

**Г. Индекс FBI (Family Biotic Index).** Данный показатель хорошо зарекомендовал себя при мониторинге быстотоков США. Недавно, после адаптации некоторых толерантных значений семейств к региональным условиям, этот индекс рекомендован для применения в государственном мониторинге КНР (Lenat, 1994). Для характеристики экологического состояния донных сообществ рек Партизанская и Ключ Лозовый по индексу FBI расчеты производились на основе модификация Лената (Lenat, 1994).

Индекс FBI, рассчитанный по материалам I серии, характеризует воды р. Партизанская на станциях P-1 и P-3 как «хорошего качества», на станции P-2 – «удовлетворительного качества», на станциях L-2б и L-2в – «плохого качества». На станциях L-3 и L-4 организмы бентоса практически не обнаружены, т.е. экологическое состояние донных сообществ следует расценивать, как катастрофическое.

Индекс FBI, рассчитанный нами для тестируемых участков рек Партизанская и Ключ Лозовый, хорошо согласуется с оценкой качества вод, произведенной по всем другим гидробиологическим показателям, а также с данными химического и микробиологического анализов. После корректировки толерантных значений семейств в применении к региональным особенностям данный показатель может быть рекомендован для биотестирования качества вод лентических экосистем российского Дальнего Востока.

#### *Оценка качества вод по структуре сообществ (по доминантам численности)*

**Д. Структура сообществ по доминантам численности.** Данный показатель хорошо демонстрирует изменения, происходящие в сообществах под влиянием антропогенного воздействия. Структуры донных сообществ на фоновых и тестируемых станциях рек Партизанская и Ключ Лозовый, представленные в виде циклограмм долевой представленности отдельных групп беспозвоночных, наглядно демонстрируют эти изменения (рис. 2–4).

Структура донных сообществ р. Партизанская выше и ниже впадения загрязненных вод р. Ключ Лозовый меняется не очень заметно, тогда как в р. Ключ Лозовый изменения носят резко выраженный характер. В районе сбросов теплых вод с водоема-охлади-

теля доминирующей группой становятся ручейники, после сбросов с прудов-отстойников и Партизанского пивзавода резко увеличивается доля хирономид и олигохет.

Таким образом, на основании анализа вод по гидробиологическим показателям отмечается влияние всех источников загрязнения на качество вод р. Ключ Лозовый. Причем особенно сильное влияние, вызывающее существенные перестройки донных сообществ и элиминацию чувствительных к загрязнению организмов, оказывают сбросы вод Партизанского пивзавода. Катастрофические изменения донных сообществ, вплоть до полной их деградации, происходят на участках аварийного сброса золы. Отмечено некоторое восстановление донных сообществ в местах, где зола была убрана (ст. 3) – через месяц наблюдается рост численности толерантных видов хирономид. Тогда как на участке, где зольные отложения остались необработанными, даже спустя 7 мес. после катастрофы восстановления сообществ не отмечено.

### Выводы

Комплексное исследование качества вод рек Ключ Лозовый и Партизанская в районе катастрофы показало сходные результаты оценки качества вод по химическим, микробиологическим и гидробиологическим показателям.

Подтверждено негативное влияние всех установленных источников загрязнения на качество вод р. Ключ Лозовый, но самыми серьезными являются два – сбросы вод Партизанского пивзавода (источник загрязнения органическими веществами) и аварийный сброс золы Партизанской ГРЭС (источник химического загрязнения; источник образования взвешенного вещества в толще воды при повышении турбулентности водного потока в паводковые и ливневые периоды; причина нарушения донных субстратов – мест обитания донных организмов вследствие отложений тонкодисперсной зольной субстанции).

Современные биологические методы экспресс-оценки качества вод по показателям макробентоса, апробированные в настоящем исследовании специалистами-гидробиологами и представителями общественных экологических организаций, подтвердили эффективность и надежность этих методов при определении экологического состояния водотоков.

Простые методы биоиндикации, основанные на определении организмов только до групп или уровня отрядов, вполне согласуются с данными, выполненными по более сложной процедуре, когда требуется детальное определение организмов.

Более широкое применение гидробиологических методов, основанных на использовании водных беспозвоночных (или даже только водных насекомых), могло бы значительно удешевить первоначальный этап исследований, когда необходимо *зарегистрировать* наличие загрязнений. На втором этапе, когда необходимо *выявить источники загрязнения и оценить уровень загрязнений*, могут и должны привлекаться более дорогие и энергозатратные методы химического и микробиологического анализов.

Предложенные простые методы экспресс-оценки качества поверхностных вод могут быть рекомендованы для российского государственного мониторинга, что значительно расширило бы скудный спектр биологических методов, используемых системой Росгидромет в настоящее время, и позволило бы значительно удешевить и сделать более оперативной саму процедуру мониторинга. Кроме того, данные экспресс-методы можно рекомендовать представителям общественных экологических организаций и частным лицам, так как методы не сложны и они не требуют длительного специального обучения. Как показывают практика и результаты зарубежного опыта (США, Япония), данные методы с успехом могут быть внедрены в систему общего образования и сыграть положительную роль в экологическом воспитании молодежи, в развитии общественного мониторинга поверхностных вод, особенно в области изучения экологического состояния малых водотоков.



### Благодарности

Настоящее исследование выполнено при участии в сборах и анализе материалов членов экологической детско-юношеской общественной организации «Росток» (г. Партизанск). Работа проводилась при поддержке ИСАР-ДВ, Комитета по природным ресурсам и экологии администрации Приморского края, Центра мониторинга за состоянием окружающей среды Приморского края, Центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора в г. Владивосток. Всем руководителям этих организаций и непосредственным участникам проекта выражаем глубокую и искреннюю благодарность.

### Литература

- Вишкова Т.С.* Гидробиологическое зонирование водотоков на примере р. Комаровка (Южное Приморье) // *Донные беспозвоночные водотоков Дальнего Востока и Сибири (Проблемы продукции и биоиндикации загрязнений)*. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987а. С. 50–55.
- Вишкова Т.С.* Продольное распределение зообентоса в ритрале р. Комаровка (Южное Приморье) // *Фауна, систематика и биология пресноводных беспозвоночных*. Владивосток: ДВО АН СССР, Владивосток. 1987б. С. 76–85.
- Вишкова Т.С.* Партизанская трагедия // «Экология, культура, общество». 2004 а. № 4 (12). С. 30–31
- Вишкова Т.С.* Партизанская трагедия (продолжение истории в соответствии с хронологией событий) // «Экология, культура, общество». 2004 б. № 5 (13). С. 36–37.
- Леванидов В.Я.* Биомасса и структура донных биоценозов малых водотоков Чукотского полуострова // *Пресноводная фауна Чукотского полуострова*. 1976. С. 104–122. (Труды БПИ ДВО РАН; т. 36).
- Шитников В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
- Barbour M.T., Gerritsen J., Snyder B.D., Stribling J.B.* Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Peryphiton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish // *Second Edition*. 1999. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water, Washington, D.C. P. 340.
- Hilsenhoff W.L.* Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index // *J. North Amer. Benthological Society*. 1988. V. 7. P. 65–68.
- Lenat D.R.* Using Aquatic Insects to Monitor Water Quality // *Aquatic Insects of China useful for monitoring water quality* / Ed. Morse J.C., Yang L., Tian L. 1994. 570 p.
- Vshivkova T.S.* The longitudinal distribution of Trichoptera in a salmon river of South Primorye // *Proceeding VI International Symposium on Trichoptera, Łódź-Zakopane (Poland)*. Adam Mickiewicz Univ. Press. 1991. P. 41–51.
- Vshivkova T.S., Nikulina T.V.* Water quality monitoring of Razdolnaya River – the main tributary of Amursky Bay (South Primorye) // *Abstr. International Conference on the Sustainability of Coast Ecosystems in the Russian Far East*. Vladivostok, 1996. P. 79–80.
- Vshivkova T.S., Nikulina T.V.* Monitoring of water quality of Razdolnaya River Basin (South Primorye) // *Ist International Conference «Russia and China: integration in sphere of economy, science and education», Birobidzhan, May 1998, 1998*. P.52–59.