УДК 574.587 DOI: 10.15853/2072-8212.2020.56.107-119

МАКРОБЕНТОС ТИПИЧНОГО МАЛОГО ВОДОТОКА ЮЖНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ (НА ПРИМЕРЕ РУЧЬЯ Б/Н, ОСТРОВ ШИКОТАН)

В.С. Лабай, А.И. Новоселова, Е.В. Абрамова, О.Н. Березова, Е.С. Корнеев, О.Б. Шарлай, Т.С. Шпилько

Зав. лаб., д. б. н.; спец.; ст. спец.; ст. спец.; вед. спец.; спец.; ст. спец.; Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («СахНИРО»)

693023 Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196. Тел.: 8 (4242) 45-67-79

E-mail: v.labaj@yandex.ru; ms.alenochk@mail.ru; evgesha.abramova.76@mail.ru; olga.berezova@mail.ru; egorich96052@mail.ru; oksana.sharlay@yandex.ru; tat.shpilko@yandex.ru

КРЕНАЛЬ, РИТРАЛЬ, ЭСТУАРИЙ, МАКРОЗООБЕНТОС, ДОННОЕ СООБЩЕСТВО, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА, ШИКОТАН

Описаны структура, количественные показатели, особенности распределения вдоль русла реки основных сообществ макробентоса кренали, ритрали и эстуарной зоны ручья б/н (о-в Шикотан). Приведены основные закономерности распределения сообществ макрозообентоса ручья.

MACROBENTHOS OF A TYPICAL SMALL STREAM OF THE SOUTHERN KURIL ISLANDS (EXAMPLE OF NAMELESS STREAM, SHIKOTAN ISLAND)

Vyacheslav S. Labay, Alena I. Novoselova, Eugenia V. Abramova, Olga N. Berezova, Egor S. Korneev, Oksana B. Sharlay, Tatiana S. Shpilko

Head of Lab., D. Sc. (Biology); specialist; senior specialist; senior specialist; leading specialist; specialist; senior specialist;

researcher; Sakhalin Branch of Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("SakhNIRO")

693023 Komsomolskaya Str., 196, Yuzhno-Sakhalinsk. Tel.: +7 (4242) 45-67-79

E-mail: v.labaj@yandex.ru; ms.alenochk@mail.ru; evgesha.abramova.76@mail.ru; olga.berezova@mail.ru; egorich96052@mail.ru; oksana.sharlay@yandex.ru; tat.shpilko@yandex.ru

KRENAL, ROTRAL, ESTUARY, MACROZOOBENTHOS, BOTTOM COMMUNITY, KURIL ISLANDS, SHIKOTAN Structure, quantitative indicators and specifics of distribution of principal macrozoobenthos communities of krenal, ritral and estuarine zones in the body of nameless stream (Shikotan Is.) are described. General patterns of the distribution are explained.

Макрозообентос рек островов Курильского архипелага, состав и структура донных сообществ, их количественные характеристики практически не изучены. Имеются ограниченные сведения о фауне отдельных отрядов и семейств (Растительный..., 2002) и описание биологии отдельных эстуарных видов ракообразных (Дулепов и др., 1986).

В то же время отмечается рост востребованности знаний о макробентосе водотоков Курильских островов в системе мониторинга речных экосистем и при описании кормовой базы речных ихтиоценов. Это обусловлено не только научным интересом, но и интенсивным развитием инфраструктурных проектов, которые требуют экологического обоснования.

В октябре 2018 г. при реализации плана научных исследований Сахалинского государственного университета была проведена бентосная съемка на различных биотопических участках русла ручья б/н на о-ве Шикотан: креналь (родниковая часть), ритраль и эстуарий. Материалы этого обследования легли в основу данной работы.

Цель работы — описание состава, структуры, количественных характеристик и выявление основных закономерностей изменчивости макробентоса в типичном малом водотоке островов южной части Курильского архипелага.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводились в русле ручья б/н, впадающего в бух. Крабовую (о-в Шикотан) в окрестностях с. Крабозаводского 20–22 октября 2018 г. Всего на 8 станциях в кренали, ритрали и эстуарии ручья (типизация по Дж. Иллиесу (Illies, Вотомапеани, 1963)) было отобрано 56 проб макробентоса (рис. 1, табл. 1). Отбор проб осуществлялся бентометром Леванидова (0,09 м²) (Методические..., 2003), затем их промывали и фиксировали 4%-м нейтрализованным формалином.

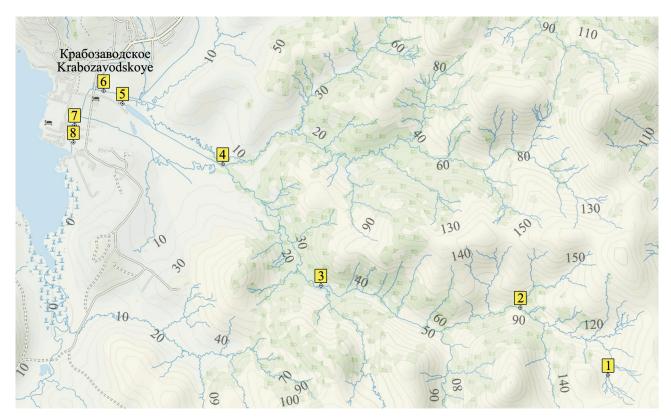


Рис. 1. Карта-схема района исследований; кружками показаны станции отбора проб бентоса Fig. 1. Schematic map of the research area; the dots mark the stations of sampling benthos

Таблица 1. Объем собранных данных / Table 1. The size of the sample collected

-	Мо отониции	Подгото ор д	III III OCTO OCTII	Количество проб на станции	Элемент русла	
	№ of station	Longitude, °E	Latitude, °N	Number of samples per station	Part of river body	
	1	43.811655	146.790221	5	Креналь / Krenal	
	2	43.815335	146.783611	10	Верхняя ритраль / Upper ritral	
	3	43.816526	146.768643	10	Средняя ритраль / Medium ritral	
	4	43.823123	146.761261	10	Нижняя ритраль / Lower ritral	
	5	43.826416	146.753732	5	Нижняя ритраль / Lower ritral	
	6	43.827090	146.752287	5	Верхнеэстуарная зона Upper estuarine zone	
	7	43.825232	146.750112	5	Среднеэстуарная зона Medium estuarine zone	
	8	43.824312	146.750027	6	Нижнеэстуарная зона Lower estuarine zone	

В кренали и ритрали ручья при отборе каждой пробы макрозообентоса с помощью зонда ГМЦ-1 измеряли скорость течения в придонном слое воды.

Большинство донных беспозвоночных определены до вида, некоторые представители двукрылых, поденок и олигохет — только до ранга рода или семейства.

Для классификационных и ординационных процедур в качестве меры обилия видов использован показатель Q (кал/м² * час), эквивалентный энергетическим затратам на дыхание всех особей i-го вида на удельной площади:

 $Q = k \cdot B_i^{0.75} \cdot N_i^{0.25}$ (Кучерук, Савилова, 1985; Azovsky et al., 2000), где B_i (г/м²) и N_i (экз./м²) — удельные биомасса и плотность i-го вида на 1 м² соответственно. Из обобщенных данных коэффициент k

принимается для Oligochaeta и Polychaeta равным 0,178; для Gastropoda — 0,126; для Amphipoda — 0,302; для Mysida, Isopoda, Decapoda — 0,133; Plecoptera и Ephemeroptera — 0,233; Trichoptera и Coleoptera — 0,293; Diptera — 0,189 (Голубков, 2000; Алимов и др., 2013).

Для сравнения видовых списков гидробионтов использовался коэффициент Сёренсена ($I_{x,y}$, %) (География..., 2002):

$$I_{x,y} = \frac{2c}{a+b} * 100,$$

где: c — количество общих видов в районах x и y; a и b — количество видов в районах x и y соответственно.

При выделении сообществ донных гидробионтов на условных станциях 1 и 2 использовался

индекс сходства, впервые предложенный Я. Чекановским (Максимович, Погребов, 1986):

$$C_{1,2} = 2\sum (\text{MIN}E_{1i}, x_{2i}) / (\sum x_{1i} + \sum x_{2i}),$$

где x_i — величина обилия i-го вида (Q) на условных станциях 1 и 2 соответственно. Пробы считались отобранными из одного сообщества при превышении значения индекса 40%. Кластеризацию исходных матриц осуществляли по методу невзвешенных парно-групповых средних (unweighted pair-group average) (Дюран, Оделл, 1977).

При описании структуры донных сообществ использовались следующие параметры: количество видов (S); удельная численность (плотность) $(N, экз./м^2)$; биомасса $(B, \Gamma/м^2)$; относительная численность вида (N, %) от общей численности макрозообентоса); относительная биомасса вида (B, % от общей биомассы макрозообентоса); частота встречаемости (ЧВ, %). Определяющим при структуризации сообществ был коэффициент относительности (КО), рассчитываемый как произведение относительной средней B (%) или показателя Q(%) на частоту встречаемости (%) (Палий, 1961). При структуризации сообществ учитывали долю каждого вида (формы) в средней общей Q макробентоса, ЧВ и КО. Вид считался доминирующим (превалирующим), если значение коэффициента относительности попадало в диапазон 1000–10 000 (доля доминирующего вида от общей Q сообщества составляла более 10% при частоте встречаемости 100%). Названия сообществ приведены по доминирующим видам.

Для выявления основных закономерностей в распределении бентоса применялось построение ординационного графа методом главных компонент (Калинина, Соловьев, 2003) в программе STATISTICA version 8.

Для оценки видового разнообразия водных сообществ использовался индекс видового разнообразия Шеннона–Уивера (I_{BO} , бит/экз.) (География.., 2002).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Параметры среды на обследованных станциях. Длина водотока равна 5,18 км, средневзвешенный уклон русла — 17,4‰, средний уклон водосбора — 230,5%. Площадь водосбора до устья ручья составляет 12,58 км² (собственные расчетные данные).

Ручей б/н берет начало в низкогорном массиве в пределах центральной части о-ва Шикотан к востоку от с. Крабозаводского на высоте порядка 130 м над уровнем моря и впадает в бух. Крабовую в районе рыбоперерабатывающего завода ООО «Гидрострой». Низовье ручья подвержено воздействию приливно-отливных явлений. Бассейн водотока неправильной формы, вытянут с юго-юго-востока на северо-северо-запад, имеет горный характер рельефа. Склоны водосбора поросли курильским бамбуком и смешанным лесом.

В верхнем течении ручей имеет явно выраженный горный характер, с большим количеством мелких порогов и водопадов. В среднем течении ручей имеет горно-предгорный облик с явным преобладанием перекатов, средний его уклон составляет 34,0%. В нижней части водоток равнинного типа, протекает по заболоченной равнине. Ширина долины 600-700 м, высота бортов — до 50 м. Пойма поросла травяной растительностью, кустарником и редкими одиночными деревьями, занята сельской застройкой. Русло прямолинейное (искусственно спрямленное), шириной 5,5-6,0 м. Высота бровок — 0,5-0,8 м. Течение в русле спокойное. Во время максимального прилива вода поднимается до уровня бровок. Устье водотока находится под влиянием приливно-отливных явлений и подвержено сильному антропогенному воздействию. С правого берега расположено рыбоперерабатывающее предприятие, с левого старая дизель-электростанция.

Все водотоки о-ва Шикотан относятся к смешанному типу питания, при этом выделяются ручьи, в питании которых преобладают подземные и талые воды. Большое влияние на режим ручьев оказывает количество осадков и распределение их в течение года, а также геологическое строение бассейна. Весной увеличивается роль талых вод, а летом преобладает дождевое питание. В зимний сезон поверхностное питание полностью прекращается, и подземные воды служат единственным источником питания ручьев. Величина грунтового питания составляет 51-58% годового объема (Ресурсы.., 1963).

Распределение количественных характеристик бентоса. В составе макрозообентоса ручья б/н встречен 71 таксон видового и родового ранга, его основу по разнообразию и количественно формировали амфибиотические насекомые — 52 вида, среди которых наиболее значимыми группами были двукрылые (17 видов), поденки (13), веснянки (11) и ручейники (9 видов). Основу биомассы макрозообентоса в кренали и ритрали ручья формировали ручейники (44,1–82,2%), при значительной доле двукрылых, поденок и веснянок (более 3–5%). Такое соотношение групп амфибиотических насекомых характерно для ритрали «лососевых» рек юга Дальнего Востока (Леванидова, 1982). Отличительной особенностью ручья б/н, по сравнению с аналогичными по размеру водотоками о-ва Сахалин (Лабай и др., 2015), является развитая эстуарная зона со специфичной солоноватоводной фауной.

По составу макрозообентоса наблюдается отчетливое разделение ручья на две зоны. В кренали и ритрали ручья (первая зона) наиболее значительную роль в формировании видового состава играли водные насекомые так называемых групп «чистой воды» (поденки, веснянки и ручейники) и двукрылые насекомые (табл. 2). В эстуарии реки (за исключением верхнеэстуарной зоны) основу бентофауны формировали специфические солоноватоводные полихеты и ракообразные, типичные для солоноватоводных эстуариев и лагун о-ва Сахалин (Лабай, 2015).

Такое распределение подтверждается дендрограммой сходства таксономического состава макрозообентоса по станциям (рис. 2), на которой на низком уровне сходства выделяются два больших кластера: первый соответствует объединенной зоне кренали-ритрали, второй эстуарной зоне.

Плотность донных гидробионтов возрастала от верхней ритрали к нижней с 132 ± 13 до $778 \pm$ 97 экз./м². Наибольшая биомасса донных беспозвоночных в пределах объединенной зоны кренали-ритрали отмечена в верхней и средней ритрали $(4,653 \pm 0,651 \text{ и } 4,704 \pm 0,698 \text{ г/м}^2 \text{ соот-}$ ветственно), а в эстуарии ручья минимальные показатели обилия приурочены к среднеэстуарной зоне (124 \pm 13 экз./м² и 1,218 \pm 0,334 г/м² соответственно).

Таблица 2. Показатели обилия макробентоса на бентосных станциях* Table 2. The indices of the macrobenthos abundance at the sampling stations*

Table 2. The indices of the macrobenthos abundance at the sampling stations*													
Станция Station	Показатель Index	Ol	Pol	Am	Is	Mys	Dec	Eph	PI	Tr	Di	Прочие Other	Интегральные показатели обилия, S (видов), N (экз./м²), B (г/м²), Q (кал/м²) Integral indices of the abundance, S (species), N (spc/m²), B (g/ m²), Q (cal/m²)
	S	1	_	1	_	_	_	4	3	3	6	1	19
1	N, %	2,1	_	5,3	_	_	_	11,6	3,2	67,4	9,5	1,1	211±23
•	B, %	1,0	_	4,5	_	_	_	4,2	1,0	74,7	14,5	0,1	$2,082\pm0,242$
	Q, %	0,2	_	3,4	_		_	1,5	0,3	92,4	2,1	0,1	20,459±2,501
	S N 9/	2	_	_	_	_	_	6 30,3	8	8 25,2	7 10,1	1 1,7	32 132±13
2	N, % B, %	4,2 0,2	_	_	_	_	_	10,9	28,6 7,4	80,8	0,7	0,1	$4,653\pm0,651$
	Q, %	$0,2 \\ 0,4$	_	_	_	_	_	16,1	8,4	74,2	0,7	$0,1 \\ 0,1$	10,936±1,524
	S^{70}	4	_	_	_	_	_	4	5	6	4	-	23
2	N, %	17,0	_	_	_	_	_	33,0	14,3	29,5	6,3	_	124±13
3	B, %	3,2	_	_	_	_	_	7,5	6,6	82,2	0,6	_	$4,704\pm0,698$
	O, %	3,2 3,2 2	_	_	_	_	_	16,9	5,5	73,9	0,5	_	13,572±1,913
	S	2	_	1	_	_	_	6	5	6	8	2	30
4	N, %	1,3	_	2,6	_	_	_	24,2	14,4	13,1	32,7	11,8	170±19
•	B, %	2,2	_	3,9	_	_	_	13,5	7,7	44,1	27,8	0,9	$2,847\pm0,470$
	Q, %	1,0	_	7,4	_	_	_	24,5	10,0	30,1	23,6	3,4	$7,582\pm0,976$
	S	4	_	1	_	_	_	7	6	5	6	1	30
5	N, %	53,4	_	4,9	_	_	_	21,4	7,7	4,0	5,4	3,1	778±97
	B, % Q, %	21,2 45,8	_	48,7 31,9	_	_	_	10,4 9,6	11,7 7,7	5,9 3,0	1,5 1,2	$0,7 \\ 0,8$	3,887±0,422 29,998±3,403
	S	1	1	31,9	1	1		1	2	1	10	1	22
	N, %	6,1	16,2	9,1	30,3	1,0	_	1,0	2,0	8,1	24,2	2,0	2220±25
6	B, %	0,5	59,9	17,8	8,3	0,6	_	0,2	1,4	4,2	6,5	0,5	0.688 ± 0.072
	Q, %	0,9	54,4	11,8	15,5	0,3	_	0,3	1,1	7,8	7,3	0,7	0.688 ± 0.072
	S	Ĺ	1	2	1	1	1	_	Ĺ	_	_	Ĺ	6
7	N, %	_	10,7	8,9	5,4	71,4	3,6	_	_	_	_	_	124±13
/	B, %	_	76,5	3,0	1,7	16,0	2,8	_	_	_	_	_	$1,218\pm0,163$
	Q, %	_	46,5	6,6	1,7	42,9	2,4	_	_	_	_	_	$3,041\pm0,334$
	S	_	2	1	1	1	I	_	_	_	1	1	8
8	N, %	_	13,7	2,4	1,6	72,6	7,3	_	_	_	0,8	1,6	230±24
	B, %	_	25,2	1,4	1,9	14,9	19,9	_	_	_	0,1	36,6	2,808±0,334
	<i>Q</i> , %		29,1	2,9	0,9	46,0	10,6				0,1	10,4	$8,046\pm0,860$

*Ol — Oligochaeta, Pol — Polychaeta, Am — Amphipoda, Is — Isopoda, Mys — Mysida, Dec — Decapoda, Eph — Ephemeroptera, Pl — Plecoptera, Tr — Trichoptera, Di — Diptera

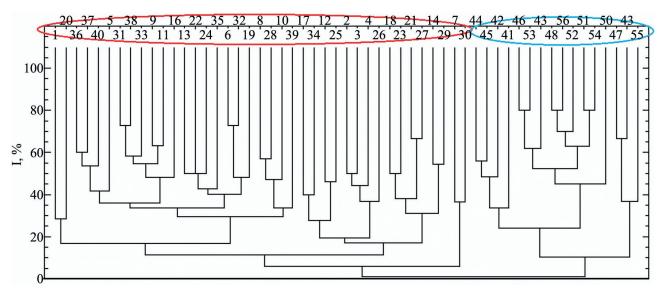


Рис. 2. Дендрограмма видового сходства макрозообентоса станций бентосной съемки по индексу Серенсена (*I*) Fig. 2. The dendrogram of the macrobenthos species similarity among stations of the survey on the Sorensen similarity coefficient (I)

В целом, в кренали на преимущественно скалисто-щебнистом грунте основу общей плотности макрозообентоса формировали ручейники и поденки, основу общей биомассы — ручейники и двукрылые (табл. 2). Доминантами в донном сообществе кренали являлись личинки ручейников Apatania crymophila, вклад которых в общую плотность составлял 64,2%, в общую биомассу — 71,1%. Значительный вклад в общую биомассу (в сумме 9,4%) отличал также лиминиид Hexatoma indet. и типулид Tipula indet.

Ниже по течению в верхней ритрали на галечно-гравийно-щебнистых грунтах при формировании общей плотности макрозообентоса наиболее значимы были поденки, веснянки и ручейники. Основу общей биомассы создавали ручейники и поденки. Так, 77,9% общей биомассы обеспечивали Stenopsyche marmorrata и Hydatophylax indet., типичные обитатели жестких грунтов предгорных и горных водотоков о-ва Сахалин (Лабай и др., 2015). Ключевыми видами на данном участке были также поденки Ephemera japonica и веснянки Megarcys ochracea, которые совместно формировали еще 12,6% общей биомассы.

При переходе к средней ритрали на галечногравийно-каменистых грунтах отмечается донное сообщество, близкое к таковому в верхней ритрали. Основу общей биомассы здесь также формировали ручейники с доминированием личинок ручейников S. marmorrata (78,7%). Поденки E. japonica и веснянки Arcynopteryx dichroa coвместно формировали еще 10,7% общей биомассы.

В нижней ритрали (станция 4) на галечно-гравийном грунте состав макрозообентоса аналогичен таковому в средней и верхней ритрали. По плотности превалировали двукрылые (32,7%) и поденки (24,2%); наиболее значимы по биомассе были ручейники, двукрылые и поденки. Доминанта не выделялась. Ключевые виды (личинки ручейников S. marmorrata, поденок E. japonica, веснянок A. dichroa, двукрылых Dicranota indet. и *Tipula* indet.) формировали 81,7% общей биомассы.

На другом створе нижней ритрали (станция 5) на камнях с гравием отмечалась коренная перестройка донного сообщества. Ключевую роль в сообществе стали играть малощетинковые черви и разноногие раки, которые совместно формировали 69,8% общей биомассы. Изменился состав доминант: бокоплавы Eogammarus barbatus и веснянки A. dichroa совместно формировали 59,8% биомассы макрозообентоса. Прочие ключевые виды (малощетинковые черви Lumbricidae indet., Tubifex tubifex, личинки поденок Rhithrogena gr. lepnevae, E. japonica и Baetis (Baetis) indet.) характеризовались совместным вкладом в общую биомассу, равным 28,4%.

В целом на станциях средней и нижней ритрали отмечен значительный вклад в общую биомассу потребителей растительного детрита: бокоплавов, веснянок A. dichroa, ручейников Hydatophylax indet. Такая ситуация является типичной для осеннего периода в малых водотоках региона (Лабай и др., 2015; Живоглядова и др., 2012; Лабай и др., 2019).

Переход к среднеэстуарной зоне характеризуется обеднением донного населения до 6 специфичных солоноватоводных видов, характерных для эстуарных вод Дальнего Востока (Лабай, 2015). На занесенной песком скале основу плотности и биомассы макрозообентоса создавали полихеты *H. japonica* и мизиды *Neomysis awatschensis*, их биомасса в сумме составила 92,5% от общей.

E. barbatus.

В приустьевой зоне на песчано-илистом грунте состав донных беспозвоночных был аналогичен предыдущему участку, по численности доминировали мизиды (*N. awatschensis*), по биомассе — полихеты (*H. japonica*) и декаподы (*Crangon amurensis*).

Минимальные значения индекса видового разнообразия, как по плотности, так и по биомассе, характеризовали среднеэстуарную зону (1,0 и 0,8 бит/вид соответственно), что свидетельствует о высокой стркутурированности донного сообщества при ограниченном видовом составе. Здесь, вероятно, сказывается лимитирующее воздействие на видовой состав макрозообентоса α-хорогалинной зоны (Хлебович, 1989). Наибольшие индексы по плотности отмечены для станций ритрали (2,7-3,1 бит/вид), где при высоком видовом разнообразии отмечалась полидоминанта по численности. Рост количества ключевых видов по биомассе наблюдался в нижней ритрали (1,9-2,0 бит/вид). Резко отличается от прочих станций горно-предгорного участка зона кренали, где высокая структурированность сообщества (1,6 бит/вид по плотности, 1,2 бит/вид по биомассе) обусловлена постоянством гидрологических условий.

При анализе структуры макробентоса на станциях методом главных компонент по нормализованному вкладу каждого вида в суммированную Q в пробе (рис. 3) выделяются три основных совокупности. Первая из них объединяет пробы 2, 4, 6, 18, 21, 23, 27 со станций кренали и ритрали. В этих

пробах отмечено превалирование личинок ручейников A. crymophila и личинок поденок E. japonica. Вторая совокупность, включающая пробы 1, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, не имеет общей доминанты; наиболее значимыми видами, формирующими совместно 68,5% общего О, являются ручейники S. marmorrata, A. crymophila, Hydatophylax indet., веснянки A. dichroa, поденки E. japonica, Rh. gr. lepnevae, болотницы Dicranota indet. и бокоплавы E. barbatus. Обе этих совокупности относятся к зонам кренали и ритрали с полным перекрытием как по зонам, так и по скорости течения и типу грунта. Факторы, обуславливающие такое разделение проб объединенной зоны кренали-ритрали, не выявлены.

K третьей выделенной совокупности относятся все пробы, собранные в эстуарной зоне, в которой превалируют полихеты H. japonica и мизиды N. awatschensis.

Влияние основных измеренных факторов среды (глубина пробы, тип грунта, скорость течения) на показатели обилия макрозообентоса в целом (S, N, В) и отдельных ключевых видов исследовано методом главных компонент (рис. 4). Очевидно, что такие взаимосвязанные факторы как скорость течения и тип грунта определяли видовое богатство (S), численность (N) макрозообентоса в целом и биомассу ряда ключевых видов: веснянок A. dichroa, поденок Rh. gr. lepnevae, Baetis (Baetis) indet., болотниц Dicranota indet., бокоплавов E. barbatus, олигохет Lumbricidae indet. и T. tubifex. Глубина места лимитировала распределение поденок Е. japonica. Биомасса донного сообщества зависела от распределения крупноразмерных ручейников S. marmorrata и веснянок M. ochracea, но фактор влияния на эти виды не определен. Еще одна группа видов — болотницы *Hexatoma* indet., ручейники A. crymophila и Hydatophylax indet. формирует четко очерченный кластер, для которого не определен фактор воздействия.

Основные сообщества. Ценотическое сходство макрозообентоса на обследованных станциях отражено на рисунке 5.

Среди всего многообразия обособившихся кластеров, отождествляемых с донными сообществами (табл. 3), выделяются три, соответствующие основным донным сообществам ритрали ручья б/н, которые отмечены в той или иной мере почти на всех станциях ритрали.

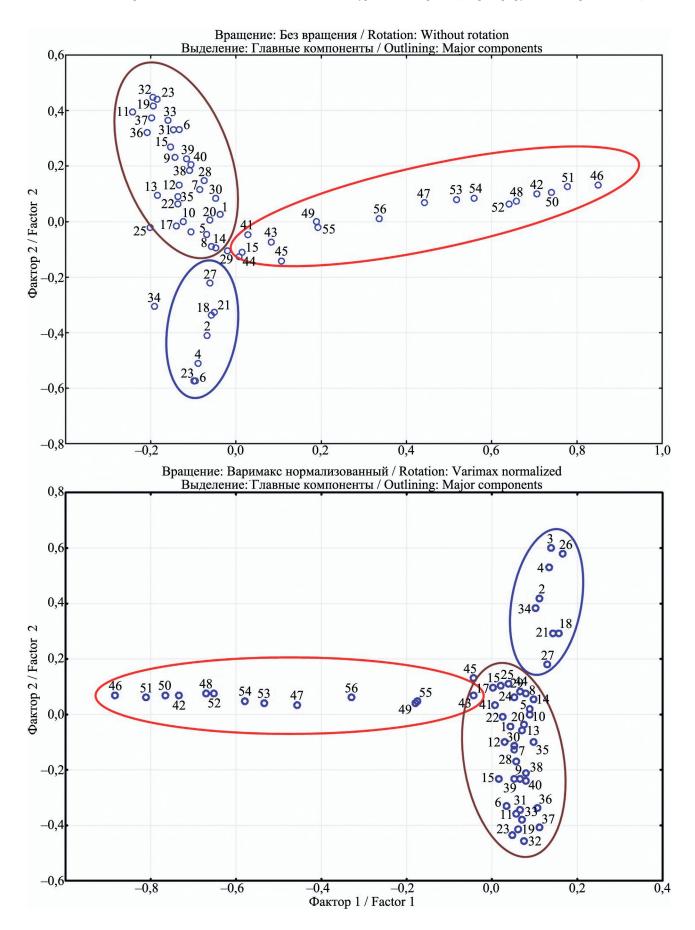


Рис. 3. Ординационный плот сходства проб бентоса методом главных компонент Fig. 3. The ordinationic plot of similarity between the benthic samples by the method of major components



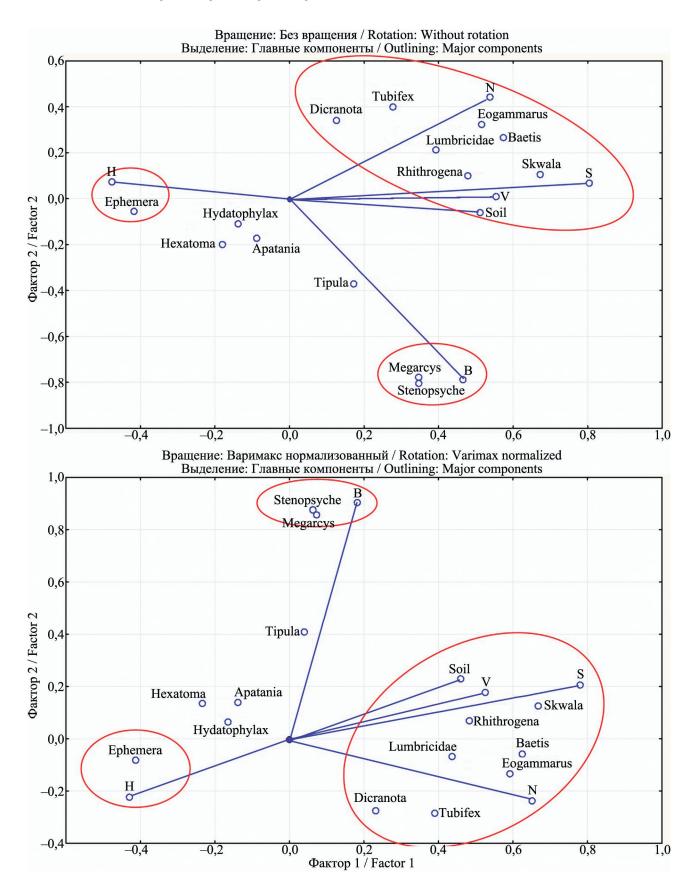


Рис. 4. Ординационный плот воздействия факторов среды и показателей обилия макрозообентоса: H — глубина пробы, Soil — тип грунта, V — скорость течения Fig. 4. The ordinationic plot of the effects of environmental factors and macrozoobenthos abundance indices: H — the depth of sampling, Soil — the type of substrate, V — the flow rate

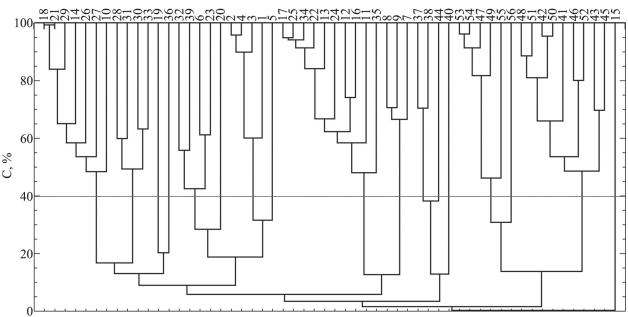


Рис. 5. Дендрограмма ценотического сходства макрозообентоса станций бентосной съемки по индексу Чекановского (*C*)
Fig. 5. The dendrogram of the coenotic similarity of macrozoobenthos among survey stations on the Chekanowski index (*C*)

Таблица 3. Показатели обилия макробентоса в выделенных донных сообществах*

Table 3. The indices of the macrobenthos abundance in outlined bottom communities*													
Сообщество Community	Показатель Index	Ol	Pol	Am	Is	Mys	Dec	Eph	PI	Tr	Di	Прочие Other	Интегральные показатели обилия, S (видов), N (экз./м²), B (г/м²), Q (кал/м²) Integral indices of the abundance, S (species), N (specs/m²), B (g/m²), Q (cal/m²)
Ephemera japonica	S N, % B, % Q, %	3 6,5 7,0 2,4	_ _ _ _	1 6,5 12,1 12,5	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _	1 45,2 72,6 77,3	4 19,4 1,2 2,3	2 3,2 3,9 2,0 2	6 14,5 2,1 2,6	2 4,8 1,2 0,9	19 98±11 1,526 6,417±0,867
Dicranota + Arcynopteryx dichroa	S N, % B, % Q, %	- - -	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _	- - -	- - -	26,7 13,1	2 17,4 26,8 22,1	7,2 6,6 5,7	35,7 49,4	1 13,0 4,2 9,7	$ \begin{array}{r} 15 \\ 192\pm22 \\ 0,622\pm0,072 \\ 3,889\pm0,454 \end{array} $
Rhithrogena gr. lepnevae	S N, % B, % Q, %	2 4,2 2,2 1,1	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	4 58,4 57,0 69,1	2 11,1 17,4 8,9	2 6,9 11,4 7,6	2 9,7 9,7 8,9	1 9,7 2,3 4,4	13 200±21 0,571±0,060 3,986±0,441
Apatania crymophila	S N, % B, % Q, %	1 1,2 0,4 0,1	_ _ _ _	1 6,2 4,9 3,5	_ _ _ _	- - -	_ _ _ _		1 1,2 0,1 0,04		7,4 15,4 2,1	_ _ _ _	$ \begin{array}{r} 12\\ 225\pm25\\ 2,389\pm0,274\\ 24,945\pm2,867 \end{array} $
Stenopsyche marmorrata	S N, % B, % Q, %	3 12,0 1,6 2,1	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _	5 16,0 1,6 2,3	6 18,4 6,1 6,4	83,0 84,6	5 12,0 7,7 4,6	1 0,8 0,02 0,04	29 139±15 8,950±1,006 19,495±2,322
Hydatophylax + Ephemera japonica	B, % Q, %	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _	5 31,0 12,9 18,0	6 33,3 8,3 8,0	4 28,6 78,5 73,7	7,1 0,3 0,3	_ _ _ _	17 1156±17 5,632±0,632 15,532±1,869
Eogammarus barbatus	S N, % B, % Q, %	2 8,4 5,5 6,5	$0,1 \\ 0,1$	2 13,0 70,4 63,4	1 9,2 0,8 1,4	- - -	- - -	6 32,6 7,6 12,0	6 13,0 11,8 12,7	4 3,1 2,2 1,4	7 13,0 0,8 1,0	1 6,9 0,8 1,5	30 485±51 4,174±0,487 22,167±2,628
Neomysis awatschensis	S N, % B, % Q, %	_ _ _	2 5,2 5,4 5,1	1 2,1 1,2 2,0	_ _ _	1 88,5 25,1 73,9	1 2,1 3,2 1,9	_ _ _ _	_ _ _	- - -	- - -	1 2,1 65,1 17,1	6 216±24 1,891±0,,301 5,883±0,716
Hediste japonica	S N, % B, % Q, %	1 2,9 0,1 0,2	1 23,5 72,5 65,5	5,1 0,8 1,7	2 16,2 3,2 4,4	1 27,9 6,6 14,4	1 5,9 14,8 9,7	_ _ 	_ _ _ _	1 5,1 0,9 2,5	9 12,5 1,1 1,5	$ \begin{array}{c} 1\\0,7\\0,1\\0,1\\0,1 \end{array} $	21 168±18 1,599±0,188 4,676±0,538

*Ol — Oligochaeta, Pol — Polychaeta, Am — Amphipoda, Is — Isopoda, Mys — Mysida, Dec — Decapoda, Eph — Ephemeroptera, Pl — Plecoptera, Tr — Trichoptera, Di — Diptera

Второй кластер (32–23) объединяет станции, также локализованные на всех станциях ритрали на камнях и скале. На этих станциях превалировали поденки *Rh*. gr. *lepnevae* (34,9% общей биомассы). Глубина в месте отбора проб составляла 0,15–0,3 м, скорость увеличилась до 0,084–0,501 м/с (средняя 0,299 м/с). Индексы видового разнообразия по плотности и биомассе 1,98 и 1,68 бит/вид свидетельствовали о низкой структурированности сообщества.

Третий кластер (17–35) приурочен к станциям ритрали, на которых было локализовано донное сообщество с доминированием крупных ручейников S. marmorrata (78,2% общей биомассы). Микробиотоп для данного сообщества характеризовался каменисто-щебнисто-галечно-гравийным грунтом, глубиной 0,1-0,35 м (средняя 0,2 м) и скоростью течения 0,020-0,322 м/с (средняя 0,184 м/с). Сообщество не структурировано по плотности (2,93 бит/вид) при высокой структурированности по биомассе (1,03 бит/вид), т. к. основу ее формировал единственный вид. Данное сообщество типично для малых водотоков о-ва Сахалин и, видимо, характерно для водотоков Южных Курильских островов (Лабай и др., 2015; Живоглядова и др., 2012, 2016; Лабай, 2012).

Прочие выделенные кластеры соответствовали донным сообществам, строго приуроченным к определенным зонам реки.

Только в кренали на перекате обнаружено сообщество *A. crymophila* (кластер 2–1). Оно локализовалось на скалисто-щебнистом грунте при сильном течении (до 0,58 м/с, средняя 0,226 м/с) и небольшой глубине 0,1 м. Поскольку абсолютным доминантом сообщества были ручейники

А. crymophila, оно отличалось высокой структурированностью по плотности (1,16 бит/вид) и биомассе (0,95 бит/вид).

Донное сообщество *Hydatophylax* indet. + *E. japonica* (кластер 8–7) является индикатором зоны верхней ритрали. Отмечено на жестких грунтах (от щебнисто-каменистых до гравия с галькой) при скорости течения 0,143–0,172 м/с. Сообщество отличалось высоким индексом видового разнообразия по плотности (2,60 бит/вид) и низким по биомассе (0,90 бит/вид). Оно было слабо структурировано по плотности (вклад отдельных видов колебался от 2,4 до 16,7%), при этом 89% биомассы формировали два доминирующих вида.

В нижней ритрали количество специфических донных сообществ увеличивается до двух. На плесе и перекате с галькой и гравием при невысокой скорости течения (0,067-0,196 м/с, средняя 0,126 м/c) отмечается сообщество *Dicranota* indet. + А. dichroa (кластер 28–33; вклад доминант в общую биомассу 60,8%). Это сообщество при увеличении скорости течения (0,198-0,333 м/с) и плотности грунтов (каменисто-гравийные) замещается сообществом *E. barbatus* (кластер 37–44; 70,2%). Индексы видового разнообразия по плотности в этих сообществах составляли соответственно 1,93 и 2,88 бит/вид, по биомассе — 1,84 и 1,49 вид/бит, т. е. при переходе от первого сообщества ко второму структурированность по плотности ослабевала, а по биомассе возрастала.

Таким образом, по мере снижения крупности донных отложений и скорости течения вдоль русла ручья происходит закономерная смена донных сообществ.

В кренали на скалисто-щебнистом дне при быстром течении обитает сообщество A. crymophila. В зоне ритрали сообщество Rh. gr. lepnevae, населяющее участки с каменисто-скалистым дном и быстрым течением (средняя 0,299 м/с), на каменисто-щебнисто-галечно-гравийных грунтах при средней скорости течения (0,184 м/с) замещается сообществом S. marmorrata, а при меньшей скорости течения (0,157 м/с) — сообществом Hydatophylax indet. + Е. japonica. Эти сообщества при переходе к песчано-галечным-гравийным грунтам и замедлении течения (0,04 м/с) сменяются сообществом Е. japonica. В нижней ритрали каменисто-галечно-гравийные перекаты на быстром течении (0,265 м/с) населяет специфичное сообщество E. barbatus, которое при снижении скорости потока (0,126 м/с) сменяется сообществом Dicranota indet. + A. dichroa.

Отдельная группа кластеров соответствует эстуарной зоне, где выделяются два донных сообщества. Первое (кластер 48-45), приуроченное к песчаным грунтам на мелководьях (0,15-0,7 м), отличается доминированием полихет Н. japonica (72,5% общей биомассы). Это сообщество слабо структурировано по плотности (2,32 вид/бит) и хорошо по биомассе (0,85 вид/бит), что соответствует стабильным, устойчивым во времени сообществам. Сообщество N. awatschensis (кластер 53-55), приуроченное к средне- и нижнеэстуарным участкам на песках с илами и скалой, отличается низкими индексами видового разнообразия — 0,34 бит/вид по плотности и 0,67 бит/ вид по биомассе. Поскольку N. awatschensis coставляет 88% численности, его биология будет определять временную изменчивость всего сообщества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В типичном малом водотоке Южных Курильских о-вов — ручье б/н (о-в Шикотан) — распределение макрозообентоса и выделенных донных сообществ по руслу водотока четко соответствуют гидроморфическому типу.

По видовому составу макрозообентоса четко разделяются объединенная зона креналь-ритраль и эстуарная зона. Основу населения зоны кренали-ритрали формировали амфибиотические насекомые, эстуарной зоны — ракообразные.

Плотность донного населения ручья возрастала от верхней ритрали к нижней, наибольшая биомасса отмечена в верхней и средней ритрали. В эстуарии минимальные показатели обилия приурочены к среднеэстуарной зоне.

В кренали-ритрали ручья изменения скорости течения и типов грунта определяли видовую структуру, численность макрозообентоса в целом и биомассу ключевых видов — веснянок A. dichroa, поденок Rhithrogena gr. lepnevae, Baetis indet., болотниц Dicranota indet., бокоплавов E. barbatus, олигохет Lumbricidae indet. и *T. tubifex*. Глубина участка лимитировала распределение поденок Е. japonica. Биомасса бентоса зависела от распределения крупноразмерных ручейников S. marmorrata и веснянок M. ochracea, но фактор влияния на эти виды не установлен.

Сообщество Apatania crymophila локализовано в кренали. В ритрали три основных сообщества — E. japonica, Rh. gr. lepnevae и S. marmorrata — отмечены практически на всех участках русла, прочие локализованы либо в верхней, либо в нижней ритрали. В эстуарии основное сообщество Н. japonica распространено повсеместно, сообщество N. awatschensis — только в среднем и нижнем течении. Последовательная смена донных сообществ вдоль русла ручья обусловлена закономерными изменениями скорости течения и качества донных отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М. 2013. Продукционная гидробиология: Монография. СПб.: Наука, 342 с.

География и мониторинг биоразнообразия: Учеб. пособие. 2002. (Н.В. Лебедева и др.) М.: Изд-во НУМЦ, 432 с.

Голубков С.М. 2000. Функциональная экология личинок амфибиотических насекомых: Монография / Тр. Зоол. ин-та. Т. 284. СПб., 294 с.

Дулепов В.И., Дулепова Е.П., Пойс В.О. 1986. Биология и продукция ракообразных Курильских островов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 356 с. Дюран Б., Оделл П. 1977. Кластерный анализ. М.: Статистика, 128 с.

Живоглядова Л.А., Даирова Д.С., Лабай В.С. 2012. Состав, структура и сезонная динамика макрозообентоса рек Восточного Сахалина // Изв. ТИНРО. T. 171. C. 199-209.

Живоглядова Л.А., Лабай В.С., Даирова Д.С., Никитин В.Д., Полтева А.В., Галанина Е.В. 2016. Структура донных сообществ малых рек Южного Сахалина в летне-осенний период на примере притоков р. Лютога // Изв. ТИНРО. Т. 184. C. 178-185.

Калинина В.Н., Соловьев В.И. 2003. Введение в многомерный статистический анализ: Учеб. пособие. М.: ГУУ, 66 с.

Кучерук Н.В., Савилова Т.А. 1985. Количественная и экологическая характеристика донной фауны шельфа и верхнего района Североперуанского апвеллинга // Бюл. Моск. о-ва испыт. прир. Отд. биол. Т. 90. Вып. 6. С. 70-79.

Лабай В.С. 2012. Продольное распределение макробентоса в малой лососевой реке о. Сахалин (на примере р. Новоселка) // Гидробиол. журнал. Т. 48. № 2. C. 41–54.

Лабай В.С. 2015. Видовой состав макрозообентоса лагун о-ва Сахалин // Изв. ТИНРО. Т. 183. C. 125-144.

Лабай В.С., Живоглядова Л.А., Полтева А.В., Мотылькова И.В., Коновалова Н.В., Заварзин Д.С., Баранчук-Червонный Л.Н., Кордюков А.В., Даирова Д.С., Никитин В.Д., Живоглядов А.А., Заварзина Н.К., Сафронов С.Н. 2015. Водотоки острова Сахалина: жизнь в текучей воде: Монография / Южно-Сахалинск: Сахалинский обл. краевед. музей, 236 с. Лабай В.С., Новоселова А.И., Березова О.Н., Шарлай О.Б., Шпилько Т.С., Никитин В.Д., Прохоров А.П. 2019. Макробентос кренали и ритрали типичной «лососевой» реки северо-восточной части о. Сахалин (на примере р. Даги) // Изв. ТИНРО. T. 196. C. 138-154.

Леванидова И.М. 1982. Амфибиотические насекомые горных областей Дальнего Востока СССР: Фаунистика, экология, зоогеография Ephemeroptera, Plecoptera и Trichoptera. Л.: Наука, 214 с.

Максимович Н.В., Погребов В.Б. 1986. Анализ количественных гидробиологических материалов: Учеб. пособие. Л.: ЛГУ, 97 с.

Методические рекомендации по сбору и определению зообентоса при гидробиологических исследованиях водотоков Дальнего Востока России: Метод. пособие. 2003. М.: ВНИРО, 95 с.

Палий В.Ф. 1961. О количественных показателях при обработке фаунистических материалов // Зоологич. журнал. Т. 40. Вып. 1. С. 3-6.

Растительный и животный мир Курильских островов (Материалы Международного Курильского проекта). 2002. Владивосток: Дальнаука. 160 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. 1963. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 2 (3). Приморье. Под ред. И.С. Быкадорова. Л.: Гидрометеоиздат. 83 с.

Хлебович В.В. 1989. Критическая соленость и хорогалиникум: современный анализ понятий / Биология солоноватых вод. Л.: ЗИН АН СССР. C. 5–11.

Azovsky A.I., Chertoprud M.V., Kucheruk N.V., Rybnikov P.V., Sapozhnikov F.V. 2000. Fractal properties of spatial distribution of intertidal benthic communities // Marine Biology. Vol. 136. P. 581–590.

Illies J., Botošaneanu L. 1963. Problems et methods de la classification et de la zonation ecologoque des eaux courants, consederees surtout do point de vue faunistique // Mitt. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol. Strattgart. № 12. P. 213–223.

REFERENCES

Alimov A.F., Bogatov V.V., Golubkov S.M. Produktsionnaya gidrobiologiya [Production Hydrobiology]. St. Petersburg, 2013, 342 p.

Geografiya i monitoring bioraznoobraziya: Uchebnoe posobiye [Geography and biodiversity monitoring: Textbook allowance]. Moscow: Izd-vo NUMTS, 2002,

Golubkov S.M. Funktsionalnaya ekologiya lichinok amfibioticheskikh nasekomykh [Functional Ecology of Larvae of Amphibiotic Insects]. St. Petersburg: Zool. Inst., Ross. Akad. Nauk, 2000, 294 p.

Dulepov V.I., Dulepova E.P., Poys V.O. *Biologiya i* produktsiya rakoobraznykh Kurilskikh ostrovov [Biology and production of crustaceans of the Kuril Islands]. Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1986, 356 p.

Dyuran B., Odell P. Klasternyy analiz [Cluster analysis]. Moscow: Statistika, 1977, 128 p.

Zhivoglyadova L.A., Dairova D.S., Labay V.S. Composition, structure, and seasonal dynamics of macrozoobenthos from the rivers of East Sakhalin. Izvestiya TINRO, 2012, vol. 171, pp. 199–209. (In Russian)

Zhivoglyadova L.A., Labay V.S., Dairova D.S., Motylkova I.V., Nikitin V.D., Polteva A.V., Galanina E.V. Structure of benthic communities in small rivers of Southern Sakhalin in summer-autumn period, a case of the Lyutoga River tributaries. Izvestiya TINRO, 2016, vol. 184, pp. 178–185. (In Russian)

Kalinina V.N., Solovyev V.I. Vvedenie v mnogomernyi statisticheskii analiz [Introduction to Multivariate Statistical Snalysis]. Moscow: Gos. Univ. Upr., 2003,

Kucheruk N.V., Savilova T.A. Quantitative and ecological characteristics of the benthic fauna of the shelf and upper area of the North Peruvian upwelling. Byull. Mosk. O-va. Ispyt. Prir., Otd. Biol., 1985, vol. 90, no. 6, pp. 70–79. (In Russian)

Labay V.S. Longitudinal distribution of macrobenthos in a small salmon river of Sakhalin Island (exemplified by the Novoselka River). Gidrobiologischeskyi Zhurnal, 2012, vol. 48, no. 2, pp. 41–54. (In Russian) Labay V.S. Species composition of macrozoobenthos in lagoons of Sakhalin Island. Izvestiya TINRO, 2015, vol. 183, pp. 125–144. (In Russian)

Labay V.S., Zhivoglyadova L.A., Polteva A.V., Motylkova I.V., Konovalova N.V., Zavarzin D.S., Baranchuk-Chervonnyy L.N., Kordyukov A.V., Dairova D.S., Nikitin V.D., Zhivoglyadov A.A., Zavarzina N.K., Safronov S.N. Vodotoki ostrova Sakhalina: zhizn v tekuchey vode [Watercourses of Sakhalin Island: Life in the running water]. Yuzhno-Sakhalinsk, 2015, 236 p.

Labay V.S., Novoselova A.I., Berezova O.N., Sharlay O.B., Shpilko T.S., Nikitin V.D., Prokhorov A.P. Macrobenthos of the crenal and rithral zones of a typical "salmon" river in Northeastern Sakhalin Island (on example of the Dagi River). Izvestiya TINRO, 2019, vol. 1196, pp. 138-154. (In Russian)

Levanidova I.M. Amfibioticheskiye nasekomyye gornykh oblastey Dal'nego Vostoka SSSR: Faunistika, ekologiya, zoogeografiya Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera [Amphibiotic Insects of Highland Regions of the Far East of the USSR: Faunistics, Ecology, and Zoogeography of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera]. Leningrad: Nauka, 1982.

Maksimovich N.V., Pogrebov V.B. Analiz kolichestvennykh gidrobiologicheskikh materialov [Analysis of Quantitative Hydrobiological Materials]. Leningrad: Leningrad. Gos. Univ., 1986, 97 p.

Metodicheskie rekomendatsii po sboru i opredeleniyu zoobentosa pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh vodotokov Dalnego Vostoka Rossii [Guidelines for the Collection and Identification of Zoobenthos in Hydrobiological Studies of Watercourses of the Russian Far East]. Moscow: VNIRO, 2003, 95 p.

Palii V.F. On quantitative indicators in processing of faunistic materials. Zoologicheskyi Zhurnal, 1961, vol. 40, no. 1, pp. 3-6. (In Russian)

Rastitel'nyy i zhivotnyy mir Kuril'skikh ostrovov (Materialy Mezhdunarodnogo Kuril'skogo proyekta) [The flora and fauna of the Kuril Islands (Materials of the International Kuril Project)]. Vladivostok: Dalnauka, 2002, 160 p.

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki. T. 18: Dal'nii Vostok, vyp. 3: Primorie [Surface Water Resources in the USSR, Main Hydrological Characteristics, vol. 18: Far East, no. 3: Primorsky Krai]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, 83 p.

Khlebovich V.V. Critical salinity and horohalinicum-contemporary analyses of concepts in Biologiya solonovatykh vod [Brackish Water Biology]. Proceedings of the Zoological Institute, Academy of Science USSR, Leningrad, 1989, pp. 5–11.

Azovsky A.I., Chertoprud M.V., Kucheruk N.V., Rybnikov P.V., Sapozhnikov F.V. Fractal properties of spatial distribution of intertidal benthic communities. Marine Biology, 200, vol. 136, pp. 581–590.

Illies J., Botošaneanu L. Problems et methods de la classification et de la zonation ecologoque des eaux courants, consederees surtout do point de vue faunistique. Mitt. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol. Strattgart, 1963, no. 12, pp. 213–223.

Статья поступила в редакцию: 02.07.2019 Статья принята после рецензии: 08.11.2019