

## Размеры площадей водосбора и некоторые показатели структуры зообентоса водотоков Северо-Востока Азии

В. Л. Самохвалов ✉

*Институт биологических проблем Севера  
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Российская Федерация  
(695000, г. Магадан, ул. Портовая, 18)*

**Аннотация:** Цель – рассмотреть зависимость некоторых показателей структуры сообществ донных животных от параметров водосборных бассейнов водотоков.

**Материалы и методы.** Поставленная задача решалась методами корреляционного и регрессионного анализа. Параметры бассейнов водотоков (площадь, периметр, порядок водотоков и их суммарная длина) были получены с использованием геоинформационной системы ARCGIS.

**Результаты и обсуждение.** Между показателями размеров водосборных бассейнов наблюдались высокие, иногда близкие к функциональным, степени связи. Показатели зообентоса – плотность населения и число основных групп организмов – имели тенденцию к закономерным изменениям с изменениями параметров водосборов. Эти изменения описывались дробно-рациональной функцией. Как и другие размерные показатели бассейнов, порядок водотоков может использоваться для анализа структуры сообществ донных животных.

**Заключение.** Рассмотренные изменения структуры зообентоса в водотоках различных порядков свидетельствуют о наличии некоторых связей между этими параметрами, как на уровне зообентоса в целом, на уровне основных групп доминирующих в бентосе животных. Эти связи, как правило, не прямо пропорциональны. Чаще всего они описываются дробно рациональными функциями.

**Ключевые слова:** водосборные бассейны, донные беспозвоночные, ручьи, реки, плотность и биомасса организмов, структура сообществ бентоса.

**Для цитирования:** Самохвалов В. Л. Размеры площадей водосбора и некоторые показатели структуры зообентоса водотоков Северо-Востока Азии // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 3, с. 69-75. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/69-75>

### ВВЕДЕНИЕ

Цель настоящей работы – выяснение тенденций изменения некоторых структурных характеристик сообществ зообентоса в малых водотоках северо-востока Азии в зависимости от параметров водосборных бассейнов.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе рассматривались такие размерные характеристики ручьев и рек как площадь водосбора, периметр и порядок водотока, определенный по методу Хортон, модифицированному Страхлером, а также сумма длин водотоков всех порядков на водосборах. Методика определения перечисленных гидрологических параметров в

геоинформационных системах детально приводится в методическом руководстве [4]. Перечисленные параметры рассчитаны в геоинформационной системе ArcGIS.

В районах станций отбора гидробиологических проб определялись географические координаты с помощью GPS навигатора Garmin ETREX. Речная сеть построена на основе данных космической съемки поверхности земли SRTM. Для этой цели использовались данные высот с сайта EOC (<https://download.geoservice.dlr.de/TDM90/>) геосервиса Центра наблюдения Земли Немецкого аэрокосмического центра. По полученным материалам в точках отбора гидробиологических проб

© Самохвалов В. Л., 2022

✉ Самохвалов Владимир Львович, e-mail: [mokhva@yandex.ru](mailto:mokhva@yandex.ru)



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

строилась речная сеть водотоков и определялись их гидрологические параметры. Поскольку корректное определение порядка водотока возможно лишь по картам сотысячного масштаба, то для его вычисления в ARCGIS использовался сток с 250 ячеек. Данная характеристика была подобрана визуальным сравнением расположений водотоков на растровых картах масштаба 1:100000 и векторных карт, построенных при стоке из 75, 100, 200, 250 и 300 ячеек. Оригинальные данные по структуре зообентоса были получены для водотоков в бассейнах верхнего, среднего и нижнего течений реки Колымы (Кулу, Дебин, Тенгке, Оротукан, Мылга и притоках верхнего течения реки Малый Анной), водотоков в районе города Магадана (Дукча, Магадан, в реке Хасын, бассейна реки Армань) и некоторых водотоках Чукотского АО (верховьях реки Анадырь, водотоках в районе поселка Беринговский, притоках верхнего течения реки Раучуа и рек бассейна Чаунской губы Восточно-Сибирского моря) на основе анализа проб, отобранных в период с 2010 по 2020 годы и литературных данных [1, 2, 3]. Пробы отбирались преимущественно в середине лета, в июле. В анализ включены данные, как экспедиционных сборов в малых и средних водотоках, так и стационарные, осредненные сезонные и многолетние, показатели состояния зообентоса.

Как количественные, так и качественные показатели структуры сообществ донных организмов включали в себя общую плотность (экз/м<sup>2</sup>), биомассу (мг/м<sup>2</sup>) зообентоса, долю олигохет в процентах от суммарной биомассы, долю личинок хирономид в процентах от общей плотности населения, индекс ЕРТ как долю суммарной биомассы поденок, веснянок и ручейников в общей биомассе бентоса в процентах, доля личинок комаров подсемейства Diamesinae в общей численности личинок комаров семейства Chironomidae в процентах. Одним из основных критериев выбора именно этих показателей была простота их расчета, не требующая предварительного детального определения видового состава организмов. Все перечисленные индексы показывают характерные состояния донных сообществ в условиях воздействия на них определенных абиотических и биотических факторов среды и большинство из них применимы для анализа как лимнофильных, так и реофильных биогеоценозов. Например, увеличение веса олигохет в общей биомассе зообентоса происходит при различных органических загрязнениях. Возрастание доли комаров подсемейства Diamesinae, характерно для

сообществ водотоков с каменистыми грунтами дна, высокой скоростью течения и лимнокренов, то есть для горных ручьев и рек. К таким же типам водотоков тяготеют и личинки мошек.

В данной работе приводятся характеристики 104 водосборных площадей, расположенных выше станций отбора количественных проб зообентоса.

Полученные данные обрабатывались с помощью статистических методов корреляционного и регрессионного анализов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *Характеристики бассейнов водотоков в районах станций отбора проб зообентоса*

Максимальная площадь водосбора отмечена для станции в устье реки Армань на побережье Охотского моря (табл. 1), минимальные, около 1 км<sup>2</sup>, на притоках первого порядка – станции Морозова на территории Колымской воднобалансовой станции, на ручье Порфиновый, притоке реки Дебин и ручье Кедровый, впадающем в бухту Гертнера Охотского моря. Между размерными показателями бассейнов водотоков (площадь водосбора, протяженность рек всех порядков, порядок основного водотока) на водосборе существуют тесные линейные связи. Так, близки к функциональным связи между порядком водотока и натуральным логарифмом суммы их длины (коэффициент корреляции между этими показателями достигает 0,94). Такого же порядка величина коэффициента корреляции ( $r = 0,89$ ) между логарифмом площади водосбора и порядком водотока. Близки к функциональным значения параметров связи для их периметров. Длина границ водосборов тесно связана линейной связью с их площадью. Этот показатель составляет для обследованных водотоков 0,90. Высок коэффициент корреляции (около 0,80) между протяженностью границ водосборов и логарифмом их площади, порядком водотоков на них и логарифмом суммарной длины водотоков.

### *Распределение зообентоса в водотоках разных порядков*

Систематические данные о порядках водотоков в бассейне северо-востока Азии отсутствуют. Приводимые в литературе материалы фрагментарны, имеются лишь для некоторых водотоков региона, и, что крайне важно, эти данные приведены без описания средних значений размеров разных порядков, их ошибок и пределов колебаний.

Ранее нами [3] была показана зависимость некоторых параметров структуры зообентоса для водотоков Верхней Колымы от их порядка. Для

первых – седьмых порядков коэффициенты биоценотического сходства отличались довольно значительно (табл. 2). Как для биомассы, так и для плотности населения коэффициенты биоценотического сходства практически всегда были близкими для водотоков близких порядков.

Таблица 1

Осредненные характеристики водосборов водотоков северо-востока Азии в местах гидробиологических станций

[Table 1. Averaged catchment characteristics of watercourses in north-east Asia at the hydrobiological station sites]

	Среднее / Mean	Ошибка / Error	Минимум / Minimum	Максимум / Maximum
Площадь водосбора, км <sup>2</sup> / Drainage area, km <sup>2</sup>	278	87,9	1	7495
Периметр, км / Perimeter, km	57	8,2	5	512
Протяженность водотоков всех порядков, м / Length of watercourses of all orders, m	174909	57461,5	200	4914410
Порядок водотока / Stream Order	3	0,13	1	7

Таблица 2

Коэффициенты биоценотического сходства зообентоса водотоков Верхней Колымы разных порядков по плотности населения (верхняя часть) и биомассе (нижняя часть) в 2009-2012 годах

[Table 2. Coefficients of biocenotic similarity of zoobenthos in watercourses of different orders of the Upper Kolyma River according to population density (upper part) and biomass (lower part) in 2009-2012]

Порядок / Order	Первый / First	Второй / Second	Третий / Third	Четвертый / Fourth	Пятый / Fifth	Шестой / Sixth	Седьмой / Seventh
Первый / First	1	91	85	58	77	77	41
Второй / Second	71	1	89	65	79	76	43
Третий / Third	84	78	1	66	84	77	49
Четвертый / Fourth	66	61	64	1	75	56	50
Пятый / Fifth	59	39	57	44	1	77	44
Шестой / Sixth	21	19	20	25	31	1	55
Седьмой / Seventh	43	37	40	57	43	67	1

В верховьях реки Колымы не все группы зообентоса были приурочены к определенным порядкам (группам порядков) водотоков. Лишь личинки хирономид и веснянок, хотя и неодинаково обильно, встречались в количественных пробах водотоков всех порядков. Среди других групп зообентоса наблюдались разнонаправленные изменения состава, плотности населения и биомассы. Так, например, гаммариды встречались лишь в

водотоках второго – четвертого порядков; мошки, встречаясь в первых порядках водотоков (с 1-го по 5-й), отсутствовали в шестых и седьмых. Биомасса поденок, которые отсутствовали лишь в водотоках второго порядка, имела тенденцию к увеличению в водотоках высоких порядков. Личинки ручейников – обычный компонент зообентоса водотоков первого – четвертого порядков, отсутствовали в пятых – седьмых порядках.

Плотность населения и биомасса зообентоса обследованных водотоков (рис. 1) имели общую тенденцию к снижению с увеличением порядка притока, начиная со второго. Низкие значения этих показателей в водотоках первого порядка (см. рис. 1), вероятно, обусловлены особенностями гидрологии водных объектов. В небольших ручьях поверхностный сток часто прекращается в период межени, что не способствует обильному развитию зообентоса.

Сравнительно высокая биомасса зообентоса водотоков шестого порядка объясняется в данном случае присутствием в бентосе крупных организмов – личинок Plecoptera, Trichoptera и комаров семейства Tipulidae.

Исследование изменения видового состава зообентоса в водотоках разных порядков требует существенных дополнений в изучение структуры сообществ и в настоящее время для северо – востока Азии не закончено. Однако, можно привести дан-

ные об изменении процентного состава личинок хирономид в бассейне реки Кулу. Предполагалось, что личинки комаров из п/сем Diamesinae более многочисленны в водотоках низких порядков. Это предположение полностью подтвердилось. Коэффициент корреляции между порядком водотока и процентом комаров из п/сем Diamesinae в общей численности хирономид очень высок ( $r = -0,89$ ), что позволяет предполагать функциональную связь между этими параметрами. О закономерных изменениях некоторых видов и групп зообентоса с изменением порядка водотока свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции между этими показателями (у логарифма численности личинок веснянки Mesocapnia:  $r = -0,53$ , а личинок хирономид из р. Diamesa:  $r = -0,77$ ). Последние две группы организмов – типичные реофильные формы зообентоса, характерные для зообентоса водотоков северо-востока Азии.

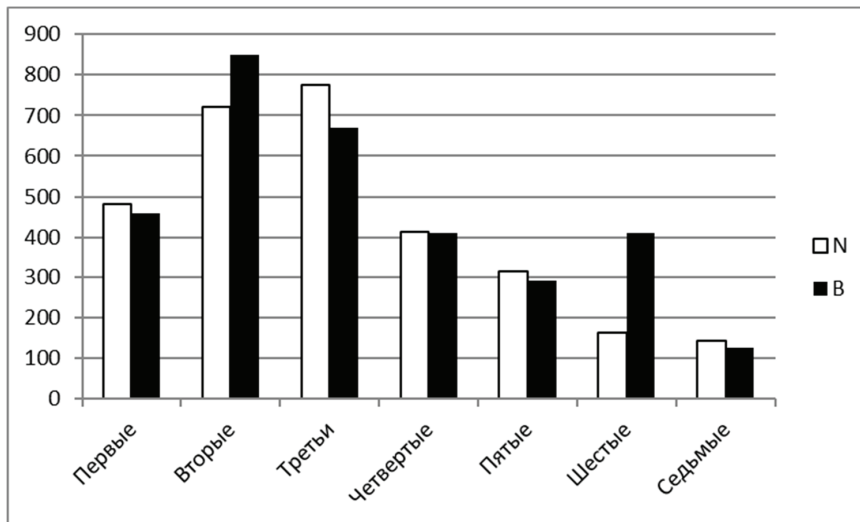


Рис. 1. Средние плотности населения (N, экз/м²) и биомассы (B, мг/м²) зообентоса в водотоках разных порядков бассейна Верхней Колымы  
 [Fig. 1. Average density of population (N, ind/m²) and biomass (B, mg/m²) of zoobenthos in watercourses of different orders of the Upper Kolyma basin]

Расширенный анализ структуры зообентоса в зависимости от размеров водотоков с 2010 по 2020 год для более широкого региона, включающего в себя водотоки Чукотского автономного округа и охотоморского побережья Магаданской области, как и для водотоков Верхней Колымы, показал наличие связей размеров бассейнов с составом донного населения. Однако, поскольку новый регион значительно превышает по размерам первоначальный, эти зависимости выражаются слабее. Бассейны этого региона расположены в более широких диапазонах высот и даже лежат в разных широтных зонах, поэтому состав

населения зообентоса меняется в более широких пределах.

Следует отметить эту существенную черту взаимосвязи размерных характеристик водотоков и структурных показателей зообентоса – в отдельных бассейнах связь обычно выше, чем в целом для всех станций. Так, подобная картина наблюдается не только для бассейнов водотоков Верхней Колымы, но и для многих близко расположенных бассейнов рек других частей северо – востока Азии.

Характер связи некоторых показателей структуры зообентоса с порядками водотоков для некоторых бассейнов приводятся в таблице 3.

Коэффициенты корреляции размеров бассейнов и некоторых параметров сообществ зообентоса при дробно рациональной зависимости параметров

[Table 3. Correlation coefficients of basin sizes and some parameters of zoobenthos communities under linear fractional dependence of parameters]

Бассейн / Basin	Число гидро- биологических проб / Number of hydrobiologi- cal samples	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient		
		Порядок – плотность насе- ления / Order – population density	Порядок – чис- ло групп зоо- бентоса / Order – number of zoobenthic groups	Порядок – ло- гарифм плотно- сти населения / Order – logarithm of population density
Нижнее течение реки Колымы (Большой Анюй) / Lower reaches of the Kolyma River (Bolshoy Anyuy)	21	0,92	0,37	0,98
Алькатваам (Берингово море) / Alkatvaam (the Bering Sea)	8	0,80	0,43	0,99
Эмээм (Берингово море) / Emaem (the Bering Sea)	17	0,51	0,59	0,93
Хасын (Охотское море) / Khasyn (the Sea of Okhotsk)	14	0,31	0,88	0,97
Омчак (Верхняя Колыма) / Omchak (Upper Kolyma)	15	0,84	0,70	0,99
Дукча (Охотское море) / Dukcha (the Sea of Okhotsk)	13	0,37	0,57	0,98
Все / All	104	0,77	0,52	0,72

В большинстве случаев коэффициенты корреляции между показателями достигают высоких значений и существенны при преобразовании к дробно – рациональной зависимости.

В отличие от водотоков бассейна Верхней Колымы в составе зообентоса практически отсутствуют группы организмов, встречающихся на всех станциях. Наиболее представительными по встречаемости были личинки и куколки комаров семейства Chironomidae. Они были представлены более чем в 94 % проб. Личинки веснянок, подеенок или ручейников присутствовали в 89 % проб. Личинки мошек встречались в 42 % всех отобранных проб, а олигохеты – в 39 %. Остальные группы присутствовали в бентосе значительно реже. Например, личинки ручейников отмечены лишь в 18 % отобранных в регионе проб.

Важная особенность в распределении зообентоса в зависимости от размерных характеристик водотоков – отсутствие линейных, прямо пропорциональных связей между ними. Однако такие связи выявлялись при линеаризующих преоб-

зованиях параметров и были существенными и даже близкими к функциональным для степенных и, особенно, для дробно-рациональных зависимостей. Так, между водосборными площадями и суммарной плотностью населения зообентоса линейная связь не наблюдалась. Однако линеаризующие преобразования к дробно рациональной функции показывали высокий (до  $r = 0,74$ ) коэффициент корреляции. Крайне близкий к этому показателю для дробно рациональной зависимости и коэффициент корреляции между плотностью населения и порядком водотока ( $r = 0,77$ ). Для сравнения – коэффициент корреляции при линеаризующем преобразовании для дробно рациональной функции между плотностью населения и периметром водосборной площади составляет всего  $r = 0,55$ . Значительно ниже (менее  $r = 0,50$ ) коэффициенты корреляции между параметрами площадей водосбора и общей биомассой зообентоса. При этом, как и для плотности населения, минимальное значение коэффициента корреляции ( $r = 0,32$ ) приходится на периметр водосборной площади.



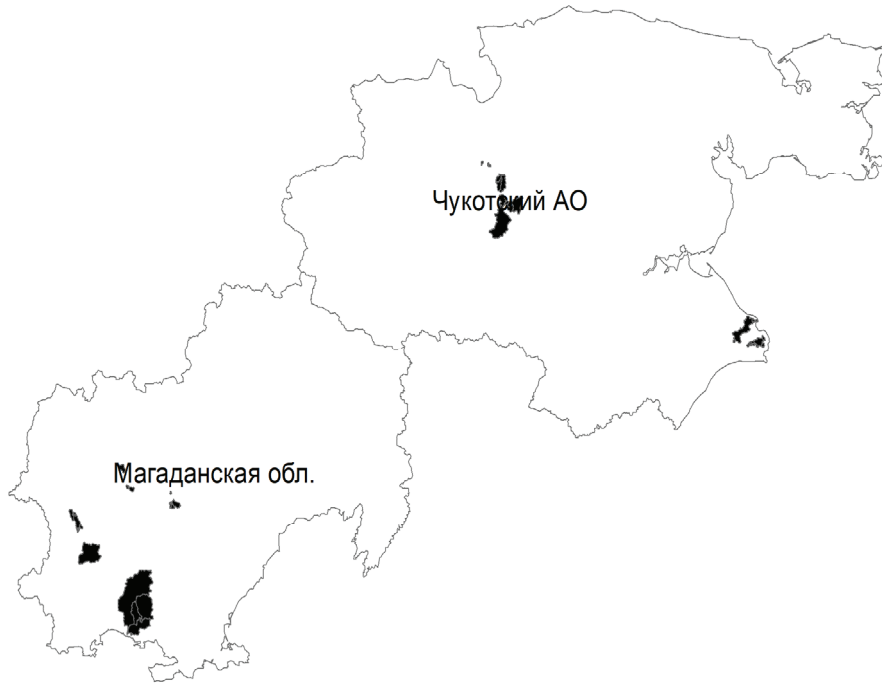


Рис. 2. Расположение обследованных водотоков в Магаданской области и Чукотском АО  
[Fig. 2. Location of the surveyed watercourses in the Magadan region and Chukotka autonomous region]

Близкая картина взаимосвязи параметров водосборов наблюдается и для других структурных показателей сообществ зообентоса. Например, процент численности личинок Simuliidae в общей численности организмов зообентоса тесно связан ( $r = 0,84$ ) с величиной порядка водотока. В отличие от площади водосбора ( $r = 0,34$ ), порядок водотока был тесно связан ( $r = 0,74$ ) с индексом ЕРТ.

Личинки хирономид из п/сем Diamesinae встречались на четверти станций отбора проб. При этом связь процента личинок с площадью водосбора составляла ( $r = 0,46$ ), а с порядками водотоков на водосборе ( $r = 0,68$ ). Следует отметить, что для процента личинок Diamesina и площадью водосбора довольно высокой была и линейная связь ( $r = -0,40$ ).

#### ВЫВОДЫ

Все приводимые в работе размерные характеристики речных бассейнов (площадь водосбора, периметр, протяженность водотоков всех порядков и порядок водотока) были тесно связаны между собой. Об этом свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции, показывающие тесные, близкие к функциональным, линейные связи между параметрами. Особый интерес среди этих показателей представляет порядок водотока, который является ранговой характеристикой размера водотока и может иметь существенное значение для типизации структуры зообентоса.

Рассмотренные изменения структуры зообентоса в водотоках различных порядков свидетельствуют о наличии некоторых связей между этими параметрами как на уровне зообентоса в целом, так и на уровне основных групп доминирующих в бентосе животных. Эти связи, как правило, не прямо пропорциональны. Чаще всего они описываются с помощью дробно рациональных функций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Засыпкина И. А., Самохвалов В. Л. Сообщества донных макробеспозвоночных водотоков бассейна реки Анадырь // *Известия Самарского научного центра РАН*, т. 13, № 1 (5), 2011, с. 1092-1096.
2. Засыпкина И. А., Самохвалов В. Л. *Зообентос водотоков Северного Охотоморья*. Магадан: Кордис, 2015. 327 с.
3. Самохвалов В. Л. Порядок водотока и распределение зообентоса в верховьях р. Колыма // *Материалы докладов Всероссийской научной конференции «Чтения памяти академика К. В. Симакова»*, 2013, с. 166-167.
4. Нугманов И. И., Нугманова Е. В., Чернова И. Ю. *Основы морфометрического метода поиска неотектонических структур: Учебно-методическое пособие*. Казань: Казанский университет, 2016. 53 с.

**Конфликт интересов:** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 27.08.2021  
Принята к публикации 05.09.2022

## Dimensions of Watershed Areas and Some Indicators of the Zoobenthos Structure of Watercourses in Northeast Asia

V. L. Samokhvalov ✉

*Institute of Biological Problems of the North, Far Eastern Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation  
(18, Portovaya st., Magadan, 695000)*

**Abstract:** The purpose is to examine the dependence of some indicators of the structure of benthic animal communities on the parameters of watercourse catchments.

**Materials and methods.** The task was solved by methods of correlation and regression analysis. The parameters of watercourse basins (area, perimeter, order of watercourses and their total length) were obtained using ARCGIS geoinformation system.

**Results and discussion.** High, sometimes close to functional, degrees of correlation were observed between catchment size indicators. The zoobenthos indicators – population density and number of major groups of organisms – tended to change in a regular way with changes in catchment parameters. These changes were described by a fractional-rational function. Like other dimensional indicators of the basins, the order of watercourses can be used to analyse the structure of benthic animal communities.

**Conclusion.** The considered changes in zoobenthos structure in watercourses of different orders indicate some relationships between these parameters, both at the level of zoobenthos as a whole and at the level of the main groups of animals dominating in the benthos. These relationships, as a rule, are not directly proportional. Most often they are described by fractionally rational functions.

**Key words:** watersheds, benthic invertebrates, streams, rivers, density and biomass of organisms, structure of benthos communities.

**For citation:** Samokhvalov V.L. Dimensions of Watershed Areas and Some Indicators of the Zoobenthos Structure of Watercourses in Northeast Asia. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2022, no. 3, pp. 69-75 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/69-75>

### REFERENCES

1. Zasy'pkina I.A., Samokhvalov V.L. Soobsch'estva donny'h makrobespozvonochny'h vodotokov basseyna reki Anadyr' [Communities of benthic macroinvertebrate streams in the Anadyr River basin]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*, v. 13, no. 1 (5), 2011, pp. 1092-1096. (In Russ.)
2. Zasy'pkina I.A., Samokhvalov V.L. *Zoobentos vodotokov Severnogo Ohotomor'ya* [Zoobenthos of the watercourses of the Northern Sea of Okhotsk]. Magadan: Kordis, 2015. 327 p. (In Russ.)
3. Samokhvalov V.L. Poryadok vodotoka i raspredelenie zoobentosa v verkhov'yakh r. Kolyma [The order of the watercourse and the distribution of zoobenthos in the upper reaches of the river. Kolyma]. *Materialy dokladov*

*Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii «Chteniya pamyati akademika K.V.Simakova»*, 2013, pp.166-167. (In Russ.)

4. Nugmanov I.I., Nugmanova E.V., Chernova I.Yu. *Osnovy morfometricheskogo metoda poiska neotektonicheskikh struktur: Uchebno-metodicheskoe posobie* [Fundamentals of the morphometric method of searching for neotectonic structures: Educational and methodological manual]. Kazan: Kazanskij universitet, 2016. 53 p. (In Russ.)

**Conflict of interests:** The author declares no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

*Received: 27.08.2021*

*Accepted: 05.09.2022*

Самохвалов Владимир Львович  
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник  
Института биологических проблем Севера Дальневосточного  
отделения РАН, г. Магадан, Российская Федерация,  
ORCID: 0000-0001-7295-8822, e-mail: mokhva@yandex.ru.

Vladimir L. Samokhvalov  
Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher at the Institute of Biological  
Problems of the North, Far Eastern Branch of the Russian  
Academy of Sciences, Magadan, Russian Federation, ORCID:  
0000-0001-7295-8822, e-mail: mokhva@yandex.ru.

© Samokhvalov V.L., 2022

✉ Vladimir L. Samokhvalov, e-mail: mokhva@yandex.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.