

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАЛЛОВ НА
БЕНТОФАУНУ Р. ФАЛЬШИВАЯ И ЕЕ ПРИТОКОВ, СТЕКАЮЩИХ СО
СКЛОНОВ МУТНОВСКОГО ВУЛКАНА (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)**

Ю.В. Сорокин

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), ул. В. Красносельская, 17, Москва, 107140, Россия. E-mail: sorokura@yandex.ru

Приведена гидрохимическая характеристика водной сети верхнего течения бассейна р. Фальшивая. Притоки, дренирующие склоны активного влк. Мутновский, выносят в главную реку избыточное количество растворенных металлов и существенно меняют условия обитания макрозообентоса. Оценен характер этого воздействия на структуру и обилие донной фауны, выявлены наиболее устойчивые виды к специфическим химическим воздействиям.

**IMPACT OF THE METALS HIGH CONCENTRATIONS ON THE BENTHIC FAUNA
OF THE FALSHIVAYA RIVER AND ITS TRIBUTARIES, FLOWING DOWN
THE MUTNOVSKY VOLCANO SLOPES (SOUTH-EASTERN KAMCHATKA)**

Yu.V. Sorokin

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO),
17 V.Krasnoselskaya Str., Moscow, 107140, Russia. E-mail: sorokura@yandex.ru*

Hydrochemical characteristics of water network upstream the Falshivaya river basin is presented. Tributaries draining the slopes of an active volcano Mutnovsky take out into the main river an excessive amount of dissolved metals and significantly alter habitat conditions of macrozoobenthos. The force of the impact on the structure and abundance of benthic fauna is evaluated, and the most resistant species to specific chemical effects are identified.

Природные гидрохимические аномалии на полуострове Камчатка – распространенное явление, связанное с повсеместным проявлением вулканизма. Избыточная минерализация, измененный pH и повышенная концентрация токсичных металлов в воде оказывают на фауну гидробионтов комплексное воздействие. Большинство представителей водной фауны накапливает металлы в организме (Grosell, Wood, 2002). Ионы металлов блокируют ферменты и функциональные белки, подавляют синтез и репарацию ДНК, способствуют развитию общего окислительного стресса (Golovanova, 2008). Особо чувствительна к токсическому действию металлов литореофильная фауна горных рек (Clements, 1994; Iwasaki et al., 2009). Отравление усугубляет закисление водной среды (Roddum, Skjelkvale, 1995). На примере водотоков северной Европы показано, что даже на фоне нелетальных концентраций металлов снижение pH до 6,0 вызывает сокращение численности бентоса в 10 раз, до трети таксонов исчезает (Oloffson et al., 1995).

Удобную модель для исследования влияния масштабного хронического привноса потенциально токсичных металлов на водную фауну представляет р. Фальшивая, протекающая под склонами активного вулкана Мутновский. Цель данной работы состояла в оценке изменения структуры и численности бентофауны реки по мере впадения вулканических притоков, выносящих токсичные воды.

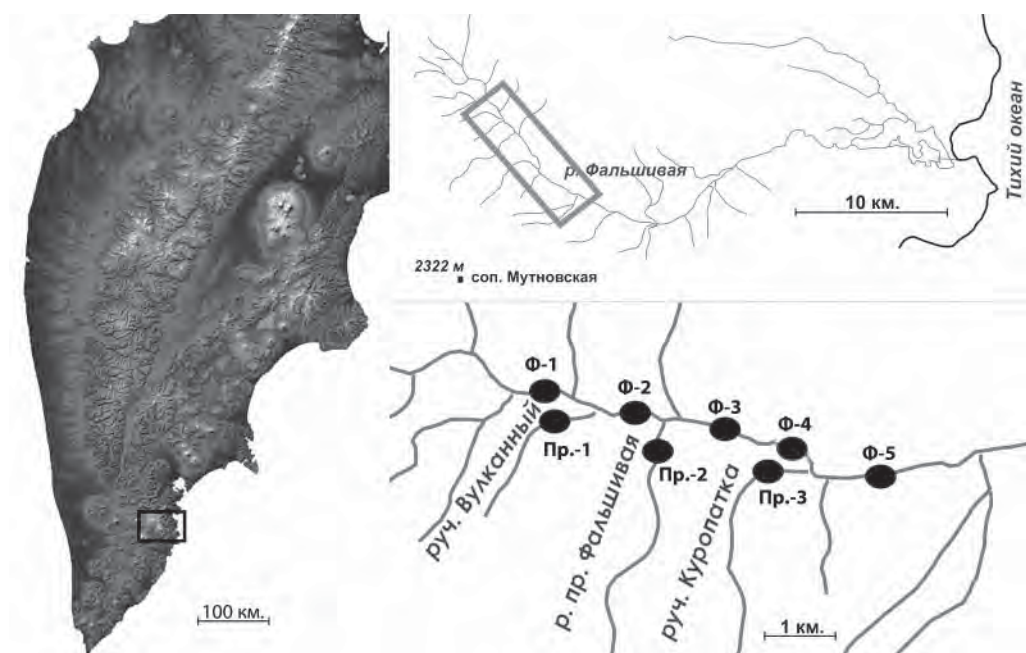


Рисунок. Схема расположения участков сбора материала, ● – участки исследований.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Река Фальшивая берет начало на склонах Мутновского вулкана, в верхнем и среднем течении образует глубокий каньон, в нижнем разветвляется на рукава и протоки и впадает Тихий океан. Площадь водосбора – 191,8 км², длина главной реки – 31 км, притоков длиной более 10 км более 60 (общая совокупная длина всей речной системы – 144 км). В верхнем течении (высотная зона 500–1000 м над у.м.) река отличается крутым падением русла (100 м и более на 1 км продольного профиля). Дно сложено крупнокаменным необкатанным грунтом (валунником). Межвалунное пространство почти на всех участках русла плотно заполнено наносами продуктов склоновой эрозии. Отличительной чертой верхний р. Фальшивая и ее многочисленных притоков также являются многочисленные пороги и водопады на выходах скальных пород. В крупнейших притоках – р. Правая Фальшивая, руч. Перевальный, руч. Вулканный – встречаются водопады высотой более 10 м.

Материал собирали на 5 участках в верхнем течении р. Фальшивая и на трех ее притоках – руч. Вулканный, р. пр. Фальшивая, руч. Куропатка (рисунок) – в конце августа 2013 г. Участки работ были выбраны так, чтобы оценить гидробиологическую ситуацию в основном русле выше и ниже (не менее 500 м) устьев притоков и в каждом из них по отдельности. Все гидрологические работы выполнили по стандартным методикам (Наставления..., 1972; Васильев, Шмидт, 1987) в ходе суточных серий измерений. Скорость течения определяли с помощью вертушки ИСП-1, глубину – гидрометрическими штангами, температуру и pH воды – портативным датчиком Hanna instruments. Химический состав отфильтрованной воды (кроме Ф-2) определяли методами плазменной абсорбции и атомной эмиссии по НСАМ-480х. В связи с отсутствием опубликованной информации по пороговым хроническим концентрациям токсикантов для литореофильных насекомых, результаты химического анализа воды сравнивали с нормативными показателями для водоемов рыбохозяйственного значения (Перечень..., 1999). Гидробиологические работы включали проведение количественных и качественных бентосных съемок, определение таксономического состава, численности и биомассы организмов (Тиунова, 2003). Всех представителей сообществ по возможности определяли до вида.. Отбор бентоса проводили с отдельных

разноразмерных камней методом Шредера–Жадина. При этом каждый камень вынимали из воды в сачок и помещали в ведро, тщательно обмывали, а смыв после фильтрования через сачок и фиксировали. Для количественных оценок численности и биомассы бентоса учитывали площадь проекции камней (Методические рекомендации..., 2003). Дополнительно с разнообразных субстратов собирали качественные пробы бентоса.

Результаты и обсуждение

В конце августа в водотоках района работ устанавливается стабильный меженный уровень. По мере впадения притоков в главной реке втрое увеличивается расход воды и растет температура; ниже устья руч. Куропатка падает рН (табл. 1).

Таблица 1

Среднесуточные гидрологические характеристики на участках работ в бассейне р. Фальшивая, август 2013 г.

| Характеристика | Участки | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|-------|------|-------|-----|------|-------|-----|
| | Ф-1 | Пр.-1 | Ф-2 | Пр.-2 | Ф-3 | Ф-4 | Пр.-3 | Ф-5 |
| Расход воды, м ³ /с | 1,62 | 0,91 | 2,67 | 0,65 | 3,4 | 3,59 | 0,9 | 4,5 |
| Температура, °С | 7,7 | 7,1 | 9,0 | 8,6 | 9,0 | 9,3 | 5,2 | 9,3 |
| рН | 7,4 | 7,1 | 7,4 | 5,6 | 7,4 | 7,2 | 5,2 | 6,8 |

В связи со сложным примесным химическим составом поверхностных вод, учитывали концентрации только тех элементов, по которым было обнаружено значительное превышение рыбохозяйственных ПДК или существенное отличие от фоновых концентраций. За фон условно приняли ситуацию на участке Ф-1, т.к. это позволяет отследить непосредственное влияние выбранных притоков. В результате анализировали изменение концентрации шести элементов (табл. 2). Сильнее прочих элементов рыбохозяйственные ПДК в водотоках бассейна превышает концентрация алюминия. Также отмечается избыточная концентрация марганца и железа, а в притоках и в нижней части исследуемого участка – кобальт, медь и цинк. Водотоки, стекающие со склона Мутновского вулкана, вносят в р. Фальшивая металлы в высоких концентрациях, и за счет существенного увеличения водности, значительно меняют состав воды, тем самым влияя на условия обитания донного населения.

Макрозообентос обследованного участка бассейна р. Фальшивая относительно беден и включает 30 таксонов из 10 семейств (табл. 3). Основу донной фауны образуют личинки хирономид, так же встречаются поденки, веснянки, ручейники, мошки, бабочницы, малощетинковые черви и пр. Бентофауна вулканических притоков испытывает бо-

Таблица 2

Концентрации элементов (мг/л) химического состава воды исследуемых водотоков в бассейне р. Фальшивая, август 2013 г.

| Элемент | ПДК р/х | Участки | | | | | | | |
|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--|
| | | Ф-1 | Пр.-1 | Пр.-2 | Ф-3 | Ф-4 | Пр.-3 | Ф-5 | |
| Al | 0,040 | 0,061 | 0,3100 | 0,7800 | 0,2800 | 0,2600 | 4,600 | 0,8000 | |
| Mn | 0,010 | 0,007 | 0,0190 | 0,0910 | 0,0250 | 0,0250 | 0,420 | 0,1100 | |
| Fe | 0,100 | 0,036 | 0,1700 | 0,2600 | 0,1500 | 0,1100 | 4,500 | 0,7700 | |
| Cu | 0,001 | нет | 0,0015 | 0,0021 | 0,0016 | 0,0007 | 0,039 | 0,0083 | |
| Zn | 0,010 | нет | 0,0023 | 0,0049 | 0,0025 | 0,0014 | 0,018 | 0,0046 | |
| Co | 0,010 | нет | нет | 0,0014 | нет | нет | 0,011 | 0,0027 | |

окончание таблицы 3

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|----|------|
| <i>Orthocladius (Eu-) roussellae</i> | 155 | 0,35 | 319 | 0,20 | 255 | 0,52 | 253 | 0,42 | 55 | 0,13 | 9 | 0,04 |
| <i>Orthocladius</i> sp.4 | 131 | 0,01 | 91 | 0,01 | 127 | 0,03 | 51 | 0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Orthocladius frigidus</i> | 36 | 0,01 | 0 | 0 | 212 | 0,10 | 67 | 0,03 | 55 | 0,02 | 0 | 0 |
| <i>Orthocladius linevitshae</i> | 6667 | 1,94 | 759 | 0,12 | 6369 | 1,89 | 3946 | 1,39 | 2259 | 0,78 | 47 | 0,02 |
| <i>Chironomidae pupae</i> | 562 | 0,58 | 15 | 0,01 | 1423 | 0,87 | 1046 | 0,65 | 237 | 0,16 | 9 | - |

Примечание. N – численность, экз./м², B – биомасса, г/м²; - – биомасса < 0,01 г/м².

Таблица 4

Общие численные характеристики макрозообентоса на участках работ в бассейне р. Фальшивая, август 2013 г.

| Участок | Численность, экз/м ² | Биомасса, г/м ² | Число таксонов общее, шт. |
|---------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Ф-1 | 11912 | 4,82 | 20 |
| Пр.-1 | 5660 | 1,05 | 10 |
| Ф-2 | 13588 | 5,09 | 18 |
| Пр.-2 | <100 | <0,01 | 4 |
| Ф-3 | 8735 | 4,00 | 13 |
| Ф-4 | 5738 | 3,04 | 14 |
| Пр.-3 | <10 | <0,01 | 1 |
| Ф-5 | 439 | 0,19 | 9 |

лее сильное воздействие, за счет чего она малочисленна или почти полностью отсутствует (табл. 3 и 4). Так, в руч. Вулканный бентос в августе представлен 10 таксонами и состоит преимущественно (50 % численности населения) из личинок хирономид *Diamesa gregsoni*. Единично встречаются мелкие веснянки, поденки и мошки. Река Правая Фальшивая отличается особо высокими концентрациями алюминия. Бентофауна в этом притоке практически полностью отсутствует, единично встречаются лишь личинки поденки *Baetis bicaudatus*, веснянки *Capnia sp.*, а также хирономид *Diamesa gregsoni* и *Diamesa davisii*. Вероятно, эти животные попадают в водоток из небольших «чистых» ручьев овражно-балочной сети, текущих со снежников. Похожая ситуация отмечена и в руч. Куропатка. Этот водоток отличается кислым рН и особо высокими концентрациями металлов, алюминий превышает рыбохозяйственный ПДК более чем в 100 раз. В августе в ручье были обнаружены только единичные личинки *Diamesa davisii*. В результате катастрофически низкой численности бентофауны р. Правая Фальшивая руч. Куропатка – количественные характеристики не учитывались.

В р. Фальшивая ниже впадения руч. Вулканный структура донного сообщества существенно не меняется: число таксонов падает с 20 до 18, а численность и биомасса остаются практически неизменными. Доминанты (*Diamesa gregsoni* и *Orthocladius linevitshae*) не меняются и составляют более 60 % населения как выше, так и ниже устья ручья. Ниже впадения р. Правая Фальшивая на участке Ф-3 концентрации металлов в воде возрастают относительно участка Ф-1 в несколько раз. Это закономерно отражается на количественных характеристиках донного сообщества. Падает численность, биомасса и разнообразие бентоса. Структура сообщества при этом меняется слабо, основу населения составляют личинки хирономид, в небольших количествах на этом участке реки встречаются веснянки *Capnia sp.*, единично – личинки мошек и поденок. Ниже по течению, в районе участка Ф-4 русло р. Фальшивая пересекает границу размыва тела селя, сошедшего по долине руч. Куропатка в каньон в 1996 г. До сих пор берега реки в заново выработанном русле

сложены нестабильным пирокластическим материалом. В период дождей и половодья берега интенсивно размываются, в реке в десятки раз повышается мутность. Концентрация токсикантов в воде при этом за счет разбавления и боковой приточности меняется несущественно. Бентос зоны русла, сложенного вулканическим шлаком, по сравнению с вышележащим участком, сохраняет таксономический состав, но снижает все количественные характеристики. Среди доминирующих видов выделяются *Orthocladius linevitshae*, *Capnia sp.* и *Diamesa davisii*. Существенно разнообразие донного населения меняется ниже впадения руч. Куропатка. В результате изменения гидрологических характеристик число таксонов снижается до 9, при этом доминирующее положение в сообществе захватывают хирономиды *Diamesa gregsoni* и *Diamesa davisii*, но и они встречены немногочисленно. В итоге, структура сообщества ниже впадения руч. Куропатка не выражена. Количественные характеристики сокращаются здесь более, чем в 10 раз.

Выводы

1. Ручьи, дренирующие незадернованные склоны Мутновского вулкана, в период летней межени выносят в приемную р. Фальшивая избыточное количество растворенных металлов (Al, Mn, Fe, Cu), вследствие чего в главной реке оказываются до 20 раз превышены ПДК, разработанные для рыбохозяйственных водоемов.
2. Высокие концентрации растворенных металлов оказывают достоверное воздействие на фауну макрозообентоса, снижая разнообразие, численность и биомассу сообществ донных организмов. Ниже впадения токсичных притоков количественные характеристики сообщества снижаются более, чем 10 раз, структура доминирования деградирует.
3. Наиболее устойчивыми видами бентосных организмов к воздействию высоких концентраций Al, Mn, Fe и Cu оказались хирономиды *Diamesa gregsoni*, *Diamesa davisii* и *Orthocladius linevitshae*, в меньшей степени – веснянки *Capnia sp.* и поденки *Baetis bicaudatus*.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-04-01433 А. Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам лаборатории воспроизводства лососевых рыб ФГУП «ВНИРО» принимавшим участие в сборе и обработке полевых материалов, а также сотрудникам ОАО Геотерм за помощь в обеспечении работ.

ЛИТЕРАТУРА

- Васильев А.В., Шмидт С.В. 1987. Водно-технические изыскания. Л.: Гидрометеиздат. 360 с.
- Методические рекомендации по сбору и определению зообентоса при гидробиологических исследованиях водотоков Дальнего Востока России. 2003. М.: ВНИРО. 95 с.
- Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. 1972. Вып. 6, ч. 2. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. Л.: Гидрометеиздат. 147 с.
- Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. 1999. М.: ВНИРО. 303 с.
- Тиунова Т.М. 2003. Методы сбора и первичной обработки количественных проб. Методические рекомендации по сбору и определению зообентоса при гидробиологических исследованиях водотоков Дальнего Востока России. М.: ВНИРО. С. 5–13.
- Clements W.H. 1994. Benthic Invertebrate Community Responses to Heavy Metals in the Upper Arkansas River Basin, Colorado // J. N. Amer. Benthological Soc. V. 13, № 1. P. 30–44.
- Golovanova I. L. 2008. Effect of heavy metals on physiological and biochemical status of fishes and aquatic invertebrates // Biology of Inland Water. V 1. P. 99–108.

- Grosell M., Wood C.M. 2002.** Copper uptake across rainbow trout gills: mechanisms of apical entry // *J. Exp. Biol.* V. 20, № 8. P. 1179–1188.
- Iwasaki Y, agaya T, Miyamoto K, Matsuda H. 2009.** Effects of heavy metals on riverine benthic macroinvertebrate assemblages with reference to potential food availability for drift-feeding fishes // *Environ. Toxicol Chem.* V. 28, № 2. P. 354–363.
- Raddum G.G., Skjelkvale B.L. 1995.** Critical limits of acidification to invertebrates in different regions of Europe: // *Water, Air, and Soil Pollut.* V. 85, № 2. P. 475–480.
- Oloffson E., Melin E., Degerman E. 1995.** The decline of fauna in small streams in Swedish mountain range // *Water, Air and Pollut.* V. 85, № 2. P. 419–424.