

Ильяшук Б.П., Ильяшук Е.А., Даувальтер В.А., Казан Л.Я.

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА  
В ГИДРОЭКОСИСТЕМЕ, ПОДВЕРЖЕННОЙ МНОГОЛЕТНЕМУ ВЛИЯНИЮ  
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ  
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

---

Институт проблем промышленной экологии Севера, Кольский НЦ РАН,  
г.Апатиты

На сегодня, во многих регионах, включая Кольский Север, где интенсивно развивается горно-металлургическая промышленность, выделяется среди ряда экологических проблем одна из наиболее острых - проблема загрязнения водоемов ТМ. Кольский полуостров богат полезными ископаемыми, и ближайшие перспективы разработки некоторых горнорудных месторождений с последующей переработкой добываемой руды обуславливают необходимость исследовать закономерности развития возможных экологических кризисов, которые могут возникать при этом в тех случаях, когда вопросам, связанным с природоохранной деятельностью, уделяется недостаточно внимания. Применение современных палеоэкологических методов позволяет осуществлять реконструкцию событий, происходивших в историческом прошлом при развитии кризисных ситуаций в той или иной гидроэкосистеме. При этом в качестве объектов, по останкам которых может быть проведена реконструкция этих событий, используются различные группы гидробионтов. Личинки хирономид представляют собой одну из групп, которая, в силу высокой степени устойчивости некоторых видов к загрязнению среды обитания металлами, наиболее перспективна при изучении вопросов, связанных с долговременным влиянием загрязняющих веществ горно-металлургического производства на гидроэкосистемы.

Целью данной работы было изучить закономерности развития экологического кризиса в водоеме, подверженном долговременному влиянию загрязняющих веществ горно-металлургического производства, используя результаты реконструкции изменений фауны личинок хирономид в историческом аспекте.

#### **Материал и методы**

Исследования были проведены в губе Монче, которая представляет собой залив оз. Имандра - одного из уникальнейших озер Кольского полуострова и всей российской Субарктики. В конце 30-х годов, с началом техногенного освоения региона, на берегах губы Монче был построен горно-металлургический комбинат "Североникель", который на протяжении шести десятилетий загрязняет сточными водами и аэротехногенными выбросами прилегающую акваторию губы. Основными загрязняющими веществами при этом выступают металлы и, в меньшей степени, биогенные элементы (Моисеенко, Яковлев, 1990). Следует отметить, что результаты наших исследований (Ильяшук, неопубл. данные) современного зообентоса оз. Имандра позволяют констатировать, что зообентос в губе Монче представлен исключительно личинками хирономид, тогда как таксоны, менее устойчивые к техногенному загрязнению и характерные для других районов озера, такие как олигохеты, моллюски, реликтовый бокоплав *Pontoporeia affinis* Lindström, здесь отсутствуют.

Хемотратиграфический анализ и изучение останков хирономид было проведено из колонки донных осадков (ДО) длиной 12 см, отобранной с использованием трубки гравитационного типа с автоматически закрывающейся диафрагмой (Skogheim, 1979) в наиболее глубоководной зоне верхнего участка губы Монче. Для изучения колонка ДО была разделена на субпробы, каждая из которых представляла слой ДО толщиной в 1 см. Лабораторные анализы были проведены в соответствии с методиками, подробно описанными в более ранних работах, связанных, как с анализом останков хирономид в ДО (Ильяшук, Ильяшук, 2000), так и с хемотратиграфическим анализом (Моисеенко и др., 1997). Видовое разнообразие хирономидных комплексов каждой субпробы оценивалось с помощью индекса Шеннона-Уивера (H), который рассчитывался на основе численности хирономид различных таксонов. Для сравнения тенденций в изменении структурных показателей хирономидных комплексов с таковыми диатомовых комплексов были

использованы результаты палеолимнологического анализа останков диатомовой флоры, проведенного в губе Монче ранее (Каган, в печати).

Кластерный анализ был проведен по методу Варда на основе квадратов евклидова расстояния между слоями донных отложений с использованием пакета программ "STATGRAPHICS Plus for Windows 3.0".

### Результаты и их обсуждение

Результаты анализа химической стратиграфии ДО показали, что верхние слои ДО, начиная с глубины 9 см и выше, соответствуют периоду, когда экосистема губы Монче испытывает техногенную нагрузку, т.е. периоду времени с конца 30-х годов по настоящее время. Были получены достоверные различия (U-критерий Манна-Уитни,  $p < 0.05$ ) между слоями верхней (0-9 см) и нижней (9-12 см) частей колонки по концентрациям многих металлов и органического вещества в ДО. Стратиграфические профили этих металлов и органического вещества. В сравнении с доиндустриальным периодом к настоящему времени концентрации Cu и Ca в донных осадках выросли в 20-25 раз, а Ni – в 32 раза. В отношении никеля можно констатировать, что его концентрации в поверхностных слоях ДО губы Монче сегодня близки к исходным в медно-никелевых рудах, используемых комбинатом в производстве (Моисеенко и др., 1997). Концентрации других элементов, таких как Zn, Co, Pb, Na, Mg, выросли несколько меньше: в 3-11 раз.

Параллельно с металлами к поверхностным слоям произошло заметное увеличение (на 22%) концентраций органического вещества в ДО по сравнению с концентрациями фоновых слоев. Что может свидетельствовать о протекающих здесь процессах эвтрофирования, хотя и не столь интенсивных в сравнении с загрязнением металлами.

В результате стратиграфического анализа останков хирономид в колонке ДО из губы Монче было найдено 1430 головных капсул личинок хирономид, принадлежащих 64 видам. Стратиграфические профили 22 таксонов из них, составлявшие по относительной численности 4% и более, представлены. Видно, что с началом техногенного загрязнения водоема в фауне хирономид произошло резкая смена доминирующих видов. В течение периода, предшествовавшего техногенному загрязнению, в фауне хирономид доминировала характерная для глубоководных субарктических водоемов танитарзина *Micropsectra insignilobus* Kieffer. Позднее, с началом техногенного загрязнения, доминанты в фауне хирономид представлены тремя таксонами *Chironomus*, *Procladius (Holotanypus)* spp. и *Sergentia coracina* (Zetterstedt), очевидно, устойчивыми к загрязнению среды обитания металлами. В трех самых верхних слоях ДО (0-3 см) было отмечено появление продиамезины *Prodiamesa olivacea* (Meigen), ранее не встречавшейся, что позволяет рассматривать данный вид в числе устойчивых к загрязнению металлами. При этом, уже на начальных стадиях загрязнения водоема из фауны исчезли такие виды как *Heterotanytarsus apicalis* (Kieffer) и *Corynocera oliveri* Lindeberg.

Дальнейший анализ стратиграфии останков хирономид позволяет выделить два последовательных этапа в изменении структуры хирономидных комплексов и, соответственно, в развитии кризисной ситуации в губе Монче: первый - этап ранних нарушений и второй - этап прогрессирующего кризиса.

**Этап ранних нарушений.** Хирономидные комплексы слоя ДО 7-8 см согласно результатам хемотратиграфии соответствуют началу техногенного загрязнения губы и отражают ранние нарушения в ее экосистеме. На этом этапе были отмечены максимальные значения показателей общего количества таксонов (45 видов) и видового разнообразия ( $H=4.85$  бит экз.<sup>-1</sup>) хирономидных комплексов в сравнении с таковыми для комплексов доиндустриального периода, как и этапа прогрессирующего кризиса.

Общая численность хирономид, оцениваемая по количеству головных капсул в слое ДО, на этом этапе увеличилась более чем в 2 раза относительно доиндустриального периода, а доля факультативных хищников, представленных хирономидами подсемейства Tanypodinae возросла более чем в 5 раз.

**Этап прогрессирующего кризиса.** Хирономидные комплексы последующих слоев ДО, начиная с глубины 6 см и до поверхности, отражают этап прогрессирующего кризиса в экосистеме

губы. На этом этапе общая численность хирономид снизилась в 6 раз по сравнению с таковой на этапе ранних нарушений и в 2,5 раза по сравнению с аналогичным показателем для фоновых слоев, соответствующих доиндустриальному периоду. Среднее число таксонов хирономид на этом этапе резко сократилось (не более 20 таксонов) относительно, как этапа ранних нарушений, так и доиндустриального периода. Подобный характер изменений на данном этапе был отмечен и для показателя видового разнообразия хирономидных комплексов.

Отмечаемые закономерности изменения фауны хирономид в историческом аспекте достаточно наглядно отразились и на результатах проведенного кластерного анализа. Реконструированные комплексы хирономид на основании их сходства по видовому составу и численности видов в результате этого анализа объединились в четыре кластера. В первый объединились комплексы доиндустриального периода, во второй - этапа ранних нарушений. В третий и четвертый кластеры объединились комплексы, соответственно, более ранних и более поздних стадий этапа прогрессирующего кризиса.

На втором этапе, этапе прогрессирующего кризиса, помимо структурных изменений в реконструированных хирономидных комплексах, были отмечены нарушения в морфологии особей отдельных видов. Во всех 6 слоях, соответствующих этому этапу, среди головных капсул личинок рода *Chironomus* были отмечены экземпляры с деформированными элементами ротового аппарата, в частности, субментума. Эти деформации были классифицированы по трем типам: первый - раздвоение центрального зуба, второй - разрушение центрального и прилегающих боковых зубцов субментума с образованием своеобразного "провала", и третий - асимметрия субментума, связанная с различием количества зубцов левой и правой его сторон. Головные капсулы личинок рода *Chironomus* с асимметрией субментума были отмечены в четырех наиболее поздних слоях ДО (0-4 см).

По результатам большинства исследований (Leary, Allendorf, 1989; Lindegaard, 1995 и др.) деформации всех трех типов, наблюдаемые и нами у хирономид из ДО губы Монче, могут свидетельствовать о сублетальных эффектах загрязняющих веществ на них. Разрушение центральной части субментума связано с ингибированием роста эпидермальных тканей головной капсулы при токсическом воздействии загрязняющих веществ, и такого рода морфологические деформации не наследуются организмами (van Urk et al., 1992; Groenendijk et al., 1998). Тогда как появление асимметрии свидетельствует о возникновении уже стресса на генетическом уровне, проявляющемся в нарушении формирования нормальной билатеральной симметрии организма (Leary, Allendorf, 1989; Clarke, 1992; Groenendijk et al., 1998).

Следовательно, отмеченные в ходе наших исследований морфологические деформации головных капсул хирономид дают основания заключить, что на протяжении этапа прогрессирующего кризиса экосистема губы Монче испытывает столь высокий уровень техногенного воздействия, который вызывает нарушения в морфологии особей некоторых групп гидробионтов, в частности, хирономид. Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что в течение этого этапа доля головных капсул личинок рода *Chironomus* с деформированным субментумом, по какому-либо из трех типов, удваивается по направлению к поверхностным слоям (с 8-15 % в слоях 2-6 см до 33-37% в слоях 0-2 см). В последние десятилетия, на более поздних стадиях рассматриваемого этапа (слои 0-4 см), техногенное загрязнение экосистемы губы достигло такого уровня, который вызывает уже генетически наследуемые нарушения в развитии особей.

При сравнительном анализе полученных нами результатов с результатами других исследований следует отметить, что сходные два этапа в развитии кризисной ситуации были отмечены при изучении почвенной фауны в зоне воздействия комбината "Североникель" (Зенкова, 2000). Как и в нашем случае, при использовании исторического подхода, так и при изучении почвенной фауны, где использовался пространственный подход, выделяется этап ранних нарушений и этап прогрессирующего кризиса. Если в зоне, удаленной на 30 км от комбината, структурные показатели почвенной фауны, такие как общее количество таксонов и видовое разнообразие, выше аналогичных в фоновой зоне (расстояние от комбината 60 км) и существенно выше таковых в зоне, находящейся в относительной близости от комбината (5-15 км) (Зенкова, 2000). Как в фауне хирономид, так и в почвенной фауне с развитием экологического кризиса монодоминантные сообщества сменяются олигодоминантными. На поздних стадиях этапа прогрессирующего кризиса, как в фауне хирономид (слои 0-6 см), так и почвенной фауне (зона в непосредственной близости от комбината, 5-15 км) наблюдается резкое снижение общей численности животных.

При этом, проводя некоторые аналогии в изменениях сообществ под влиянием техногенного загрязнения, следует отметить, что они не могут быть однозначно распространены на все сообщества биоты. Примером тому служат изменения, отмеченные в комплексах диатомовых водорослей губы Монче, где показатели биоразнообразия с развитием экологического кризиса сходным образом резко снижаются, тогда, как смена сообществ происходит в обратном направлении – от олигодоминантных к монодоминантным при резком возрастании общей численности водорослей.

Таким образом, следует заключить, что при развитии экологического кризиса в губе Монче, подверженной долговременному влиянию загрязняющих веществ горно-металлургического комбината, выделяется два последовательных этапа: этап ранних нарушений и этап прогрессирующего кризиса. В последние десятилетия техногенное загрязнение экосистемы губы достигло уровня, который вызывает генетически наследуемые нарушения в развитии особей. В будущем, при освоении других горнорудных месторождений и строительстве новых объектов горно-металлургической промышленности следует учитывать, что на прилегающих к ним водоемах в первые годы хозяйственной деятельности, на этапе ранних нарушений, складывается ситуация, которая, на первый взгляд, не вызывает беспокойства с точки зрения природоохранной деятельности. Так как на начальном этапе показатели биоразнообразия сообществ гидробионтов даже возрастают. Но этот этап относительно короткий во времени, и после него может последовать этап прогрессирующего кризиса, на котором происходит резкое снижение показателей биоразнообразия, а так же наблюдаются генетически наследуемые нарушения в развитии отдельных особей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зенкова И.В. Структура сообществ беспозвоночных животных в лесных подзолах Кольского полуострова. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Апатиты, 2000. 34 с.
2. Ильяшук Б.П., Ильяшук Е.А. Палеоэкологический анализ сообществ хирономид горного озера как информационный источник для биомониторинга // Экология. 2000. Т. 31, № 5. С. 384-389.
3. Каган Л.Я. Изменение сообществ диатомовых водорослей при антропогенном преобразовании экосистемы оз. Имандра // Водные ресурсы. 2000 (в печати).
4. Моисеенко Т.И., Яковлев В.А. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л., 1990. 221 с.
5. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Родюшкин И.В. Геохимическая миграция элементов в субарктическом водоеме (на примере озера Имандра). Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, 1997. 128 с.
6. Clarke G.M. Fluctuating asymmetry: A technique for measuring developmental stress of genetic and environmental origin // Acta Zool. Fenn., 1992. V. 191. P. 31-35.
7. Groenendijk D., Zenstra L.W.M., Postma J.F. Fluctuating asymmetry and mentum gaps in populations of the midge *Chironomus riparius* (Diptera: Chironomidae) from a metal-contaminated river // Environ. Toxicol. Chem., 1998. V. 17, No 10. P. 1999-2005.
8. Leary R.F., Allendorf F.W. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress: Implications for conservation biology // Trends Ecol. Evol., 1989. V. 4. P. 214-217.
9. Lindegaard C. Classification of water-bodies and pollution // Armitage P.D., Cranston P.S., Pinder L.C.V. (eds.) The Chironomidae: Biology and ecology of non-biting midges. Chapman & Hall, 1995. P. 385-404.
10. Skogheim O.K. Rapport fra Arungenprosjektet. Oslo: As-NLH. 1979. N 2. 7 pp.
11. van Urk G., Kerkum F.C.M., Smit H. Life cycle patterns, density and frequency of deformities in *Chironomus* larvae (Diptera: Chironomidae) over a contaminated sediment gradient // Can. J. Fish. Aquat. Sci., 1992. V. 49. P. 2291-2299.