

Гистопатологические показатели сиговых рыб в условиях влияния металлургической промышленности

И. М. КОРОЛЕВА, Н. А. КАШУЛИН

Институт проблем промышленной экологии Севера РАН
184209, Анапиты, ул. Ферсмана, 14А
E-mail: koririn@yandex.ru

Статья поступила 11.06.2015

Принята к печати 10.07.2015

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты мониторингового исследования состояния организма обыкновенного сига (*Coregonus lavaretus* L.), обитающего в приграничной реке Пасвик и ряде озер Северной Фенноскандии. Водосборная территория подвергается значительному загрязнению медью, никелем и диоксидом серы вследствие аэротехногенного переноса выбросов комбината “Печенганикель”. Экологическая ситуация вблизи предприятия оценивается как крайне неблагоприятная и требует постоянного контроля, в том числе за состоянием водных экосистем. В качестве биомаркеров диагностики состояния организма малотычинковых сигов использованы гистопатологии жабр, печени и почек. Диагностированы и классифицированы изменения их клеточной структуры. Наличие выявленных аномалий связывается с многолетней аэротехногенной нагрузкой на исследованные водоемы. Рассмотрена возможность применения полученных данных для оценки качества вод.

Ключевые слова: сиг (*Coregonus lavaretus*), тяжелые металлы, Кольский полуостров, гистопатологии, биомаркеры.

Кольский п-ов обладает уникальным качеством среды и богатыми природными ресурсами. При этом приграничная территория между Норвегией, Финляндией и Россией находится под сильным антропогенным влиянием от предприятий металлургической индустрии. Одним из источников загрязнения является комбинат “Печенганикель”, принадлежащий холдингу “Норильский никель”. Сточные воды поступают непосредственно в оз. Куэтсъярви и далее в нижнее течение р. Пасвик, с которой озеро соединяется через протоку.

Исследование экологической ситуации на территории влияния комбината “Печенгани-

кель” продолжается более 20 лет [Кашулин, Решетников, 1995; Moiseenko et al., 1995; Amundsen et al., 1997, 2011; Dauvalter, Rognerud, 2001; Kashulin et al., 2001, 2011; Dauvalter, 2003; Lukin et al., 2003]. Предложенный Ю. С. Решетниковым с соавт. [1999] экспресс-метод расчета индекса неблагоприятного состояния особи и популяции по визуальному наблюдению патологий (макродиагностика) достаточно хорошо отражал степень поражения рыб. На его основе автором произведено районирование территории на зону экологического кризиса, зону экологического бедствия и зону относительного благопо-

лучия. Вместе с тем работы, посвященные анализу изменений на клеточном уровне, немногочисленны [Лукин, Шарова, 2004; Kogoleva, Kashulin, 2014]. Выявление последствий загрязнения химическим анализом достаточно дорого, что определяет потребность в чувствительных и относительно дешевых диагностических биомаркерах, пригодных для мониторинга окружающей среды. Исследования с применением гистопатологий в качестве биомаркеров показали возможность их использования для оценки воздействия загрязняющих веществ на организм рыб [Adams, 1990; Anderson et al., 1997].

Цель данного исследования – выявление спектра и специфики гистопатологических изменений во внутренних органах сига, обитающих в пресноводных водоемах северной Фенноскандии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Река Пасвик (69° с. ш., 30° в. д.) протекает вдоль национальной границы между Норвегией, Финляндией и Россией и впадает в Баренцево море (рис. 1). В речной системе по-

сле строительства плотин преобладают озеровидные расширения. Река богата рыбой, в общей сложности в ней живут 15 видов из 11 семейств [Amundsen et al., 2006; State..., 2007]. Данная работа включает результаты исследований, выполненных на трех озеровидных расширениях (станциях) р. Пасвик, расположенных на различном удалении от комбината по градиенту нагрузки: в верхнем течении Раякоски (ст. 4), Ваггатем (ст. 5) и в нижнем течении Скрюккебухта (ст. 6). На территории России отбор производился в оз. Куэтсъярви (ст. 7), на территории Финляндии – в озерах Айтоярви (ст. 2) и Кантоярви (ст. 3) и на территории Норвегии в оз. Стуораярви (ст. 1) (табл. 1).

Основными источниками загрязнения промышленно освоенной части Мурманской обл. никелем, медью и диоксидом серы являются металлургические комбинаты, принадлежащие холдингу “Норильский никель”, расположенные в городах Мончегорск, Никель и Заполярный [Kashulin et al., 1997; Amundsen et al., 1997]. Наиболее высокий уровень загрязнения тяжелыми металлами воды и донных отложений выявлен в оз. Куэтсъярви и

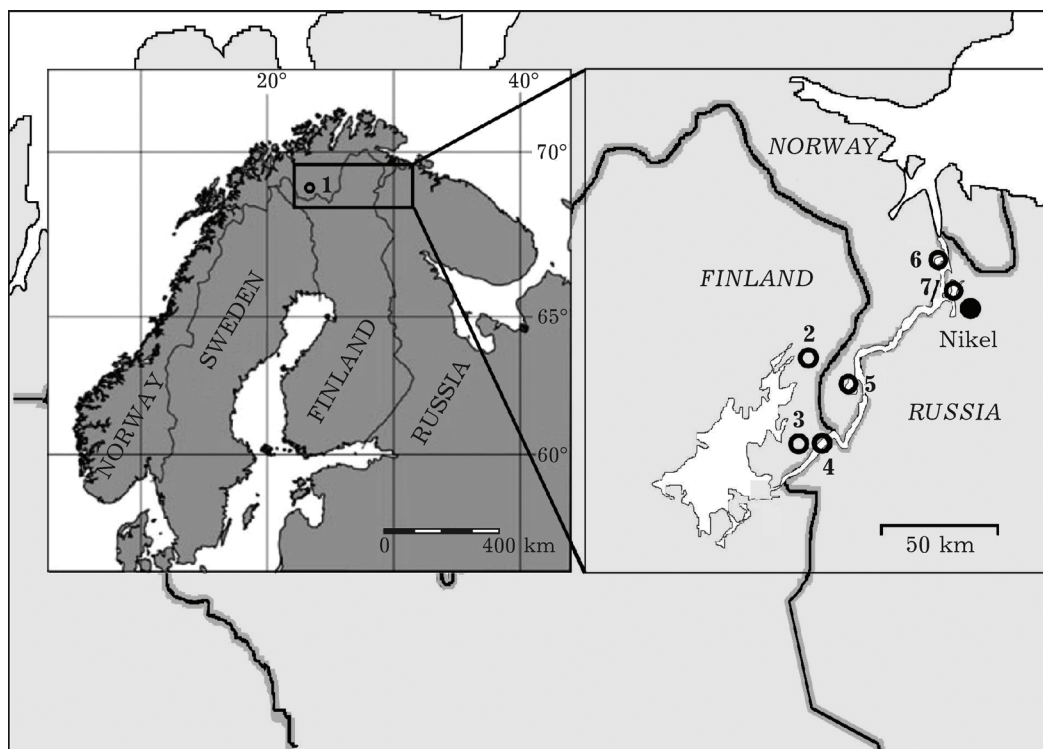


Рис. 1. Карта-схема района исследований

Станции отбора проб и расстояние до источника загрязнения

Станция	Озеро	Страна	Координаты	Площадь озера, км ²	Расстояние, км
1	Стуораярви	Норвегия	69°08' с. ш., 22°47' в. д.	25,0	300
2	Айтоярви	Финляндия	69°25' с. ш., 28°57' в. д.	0,57	70
3	Кантоярви	Финляндия	68°59' с. ш., 28°40' в. д.	0,36	95
4	Раякоски	Россия	69°01' с. ш., 28°55' в. д.	≈ 4,5	65
5	Ваггатем	Норвегия	69°13' с. ш., 29°14' в. д.	≈ 15,0	40
6	Скрюккебухта	Норвегия	69°33' с. ш., 30°7' в. д.	≈ 6,5	16
7	Куэтсъярви	Россия	69°26' с. ш., 30°09' в. д.	17,0	5

в нижнем течении р. Пасвик (Скрюккебухта) [Traaen et al., 1991; Dauvalter, 1992; Dauvalter et al., 2011].

Сбор ихтиологического материала производился в июле–сентябре 2004–2005 гг. Рыбу отлавливали ставными жаберными сетями с размерами ячеи от 10 до 50 мм. Для гистологического анализа отобраны 120 особей малотычинкового сига массой от 160 до 460 г, 5–7-летнего возраста. Фиксация образцов жабр, печени и почек производилась жидкостью Буэна. Гистологическая обработка осуществлялась по общепринятым гистологическим методикам [Роскин, Левинсон, 1957]. Срезы толщиной 5–7 микрон окрашивались гематоксилин-эозином.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выявленные гистопатологические изменения сгруппированы в пять основных категорий: циркуляторные, прогрессивные, регрессивные, воспалительные и опухоли [Bernet et al., 1999; Шарова, Лукин, 2005].

Гистопатологии жабр. Циркуляторные изменения, такие как межклеточный отек, кровоизлияния и аневризмы, обнаружены у рыб, выловленных в озерах Стуораярви, Куэтсъярви и р. Пасвик (рис. 2, а, б). Спектр прогрессивных изменений оказался более широким. Утолщения вторичных ламелл или колбообразные вздутия их апикальных концов, вызванные гиперплазией ламеллярного

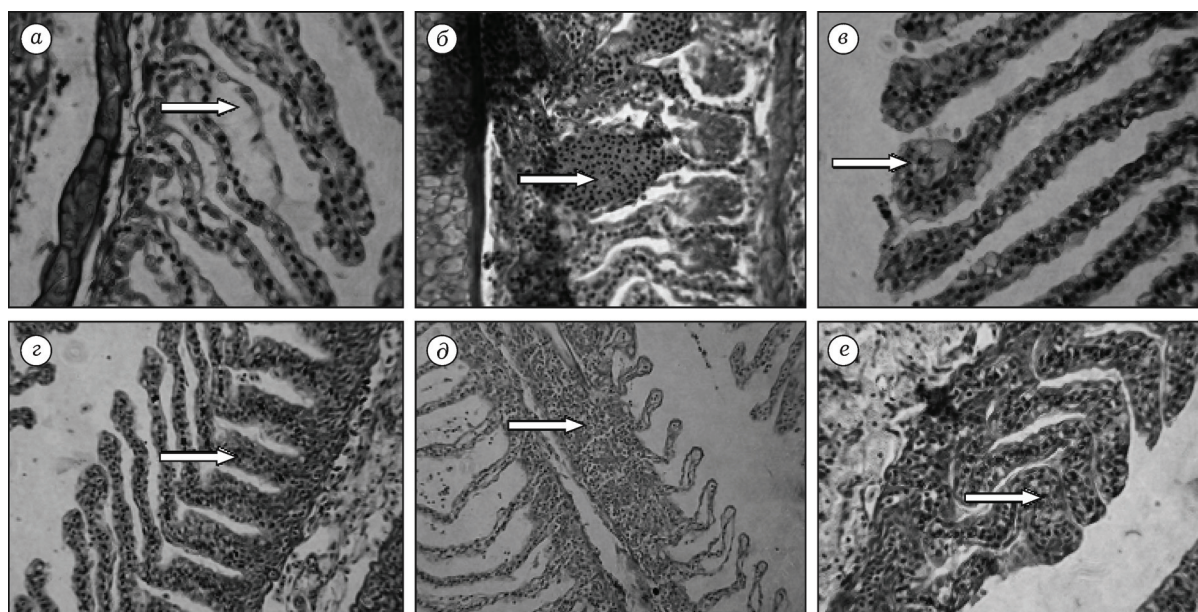


Рис. 2. Циркуляторные и прогрессивные изменения в жабрах сига: а – отек ламелл; ×250; б – кровоизлияние между вторичными ламеллами, ×400; в – колбообразные вздутия вторичных ламелл, ×400; г – гиперплазия (утолщение) вторичных ламелл, ×400; д – гиперплазия вставочного эпителия, ×400; е – сращивание вторичных ламелл, ×100. Все препараты окрашены гематоксилин-эозином

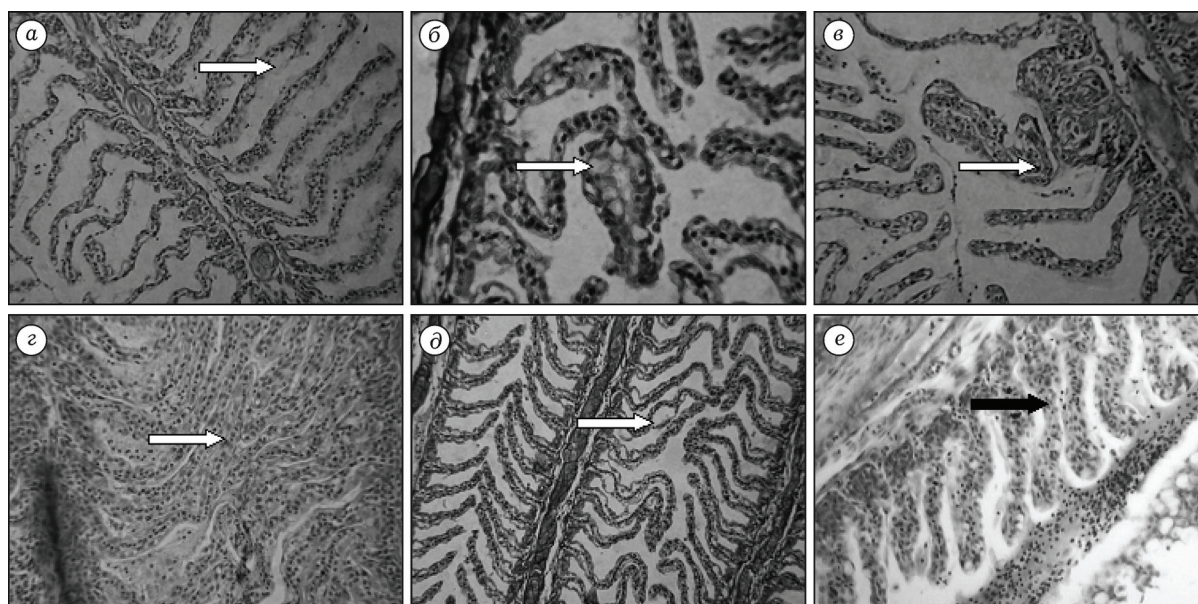


Рис. 3. Регрессивные и воспалительные изменения в жабрах сига: а – разрушение эпителия вторичных ламелл, $\times 250$; б – вакуольная дегенерация эпителия ламелл, $\times 400$; в – нарушение структуры вторичных ламелл; г – кровоизлияние между вторичными ламеллами, очаги некроза, сращивание соседних ламелл, $\times 400$; д – десквамация респираторного эпителия, $\times 400$; е – разрушение эпителия вторичных ламелл, некоторые ламеллы окружены массой клеток крови, $\times 250$

эпителия, выявлялись у сигов из оз. Куэтсьярви и двух станций р. Пасвик (см. рис. 2, в, г). У рыб из оз. Стуораяври наблюдалась гиперплазия вставочного эпителия, приводящая к исчезновению пространства между вторичными ламеллами (см. рис. 2, д). Срастание вторичных ламелл обнаружено у сигов из озер Айтоярви и Стуораяври (см. рис. 2, е). Значительно чаще встречались регрессивные изменения. В зонах повреждения наблюдались дегенеративные эпителиальные клетки, отслоившиеся вследствие кровоизлияния (рис. 3, а, е). Отслоение (слущивание) дыхательного эпителия от капилляров во вторичных ламеллах и вакуольная дегенерация ламеллярного эпителия встречались во всех исследованных водоемах (см. рис. 3, б, д). Иногда наблюдалось разрушение структуры вторичной ламеллы (см. рис. 3, в). Очаги некроза в жабрах и слущивание дыхательного эпителия выявлены у рыб из Ваггатема (см. рис. 3, г, д). Опухоли в жабрах всех исследованных рыб отсутствовали.

Гистопатологии печени. Циркуляторные изменения, такие как кровоизлияния и гиперемия паренхимы, отек паренхимы, обнаружены у рыб из озер Стуораяври и Куэтсьярви (рис. 4, а, б, г). Стаз кровеносных сосудов отмечался у сигов из всех обследован-

ных водоемов (см. рис. 4, б). К циркуляторно-дегенеративной патологии следует отнести присутствие разрушенных эритроцитов внутри кровеносных сосудов (рис. 4, в; 5, д). Основными прогрессивными изменениями в печени оказались соединительнотканное разрастание вокруг сосудов и в паренхиме (см. рис. 4, д, е). Склеротические изменения стенок кровеносных сосудов (фиброзис) были выявлены у сигов из р. Пасвик (ст. Скрюккебухта) и оз. Куэтсьярви. К регрессивным изменениям мы отнесли наличие гепатоцитов с вакуольно-капельной жировой дистрофией, очаги некробиоза с пикнотичными ядрами у гепатоцитов и очаги некроза в паренхиме (см. рис. 5, а–в). Перечисленные патологии найдены во всех водоемах. Присутствие клеточного детрита в просвете кровеносных сосудов регистрировалось у рыб из оз. Стуораяври (см. рис. 5, г). В единичных случаях встречалась полиморфноядерная опухоль. У рыб из оз. Куэтсьярви наблюдалась пролиферация малодифференцированных клеток (возможно, опухоль) и множественные гранулемы. Неспецифическое острое воспаление в экссудативной стадии отмечалось у сигов из оз. Стуораяври и Ваггатема. Опухоли обнаружены в печени рыб из оз. Куэтсьярви (см. рис. 5, д, е).

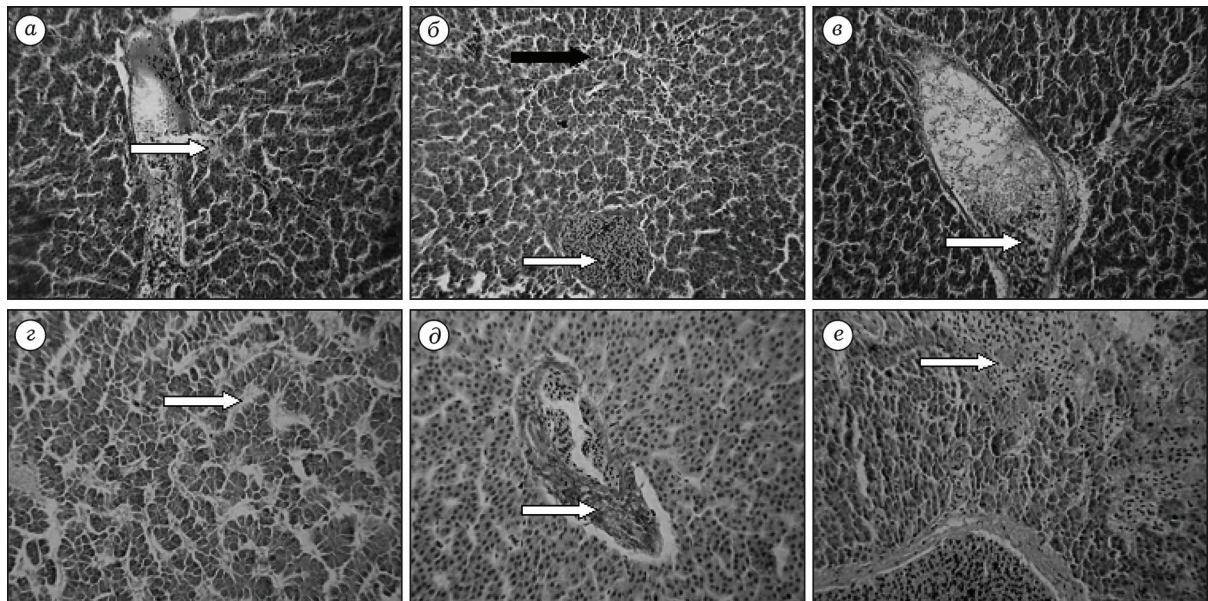


Рис. 4. Циркуляторные и прогрессивные изменения в печени сига: а – кровоизлияние в паренхиму, $\times 400$; б – гиперемия паренхимы (черная стрелка) и венозный стаз (белая стрелка), $\times 400$; в – разрушенные эритроциты в кровеносном сосуде, $\times 400$; г – отек паренхимы, $\times 400$; д – фиброз стенки сосуда, $\times 400$; е – фиброз паренхимы, $\times 400$

Гистопатологии почек. Циркуляторные изменения, такие как стаз кровеносных сосудов, выход эритроцитов в полость Боуменовых капсул, встречались у сегов из озер Кантоярви и Куэтсъярви (рис. 6, а, б, г). Кровоизлияния в интерстициальную ткань почек

отмечены у рыб из оз. Стуораярви и р. Пасвик (см. рис. 6, в). Во всех водоемах обнаруживалось наличие клеточного детрита в просветах почечных канальцев. Прогрессивные изменения представлены соединительно-тканевыми разрастаниями вокруг кровеносных со-

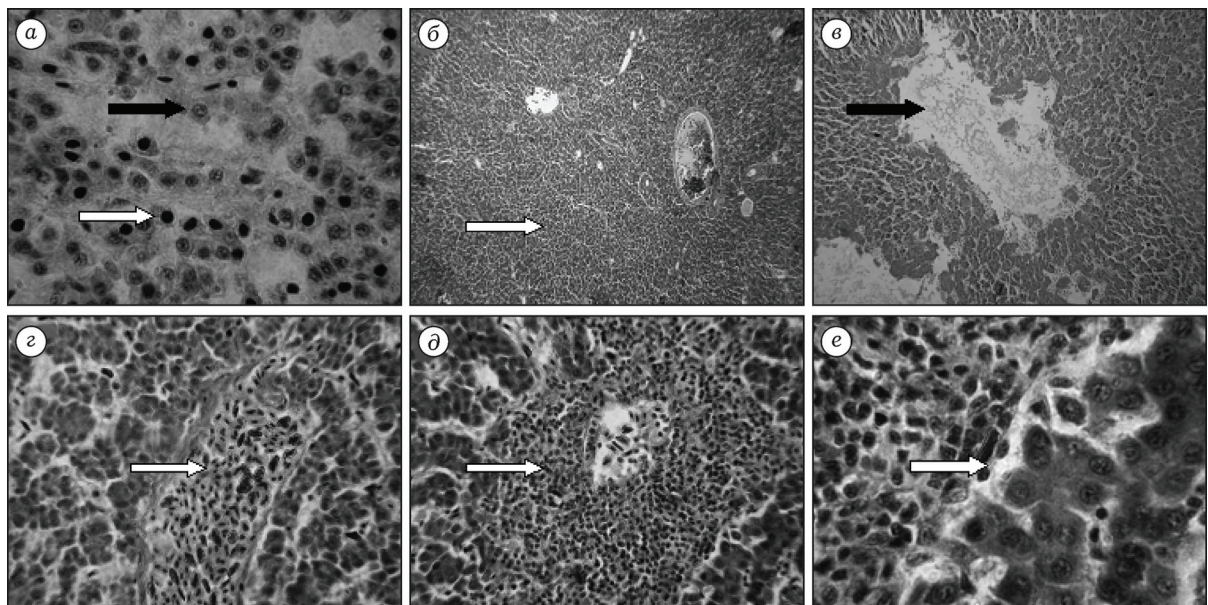


Рис. 5. Регрессивные и воспалительные изменения в печени сига: а – пикноз ядер гепатоцитов (белая стрелка) и нормальное ядро (черная стрелка), $\times 1200$; б – очаги некробиоза в паренхиме, $\times 250$; в – очаги некроза в паренхиме, $\times 250$; г – разрушенные эритроциты в кровеносном сосуде, $\times 1000$; д – опухоль (гранулема) в паренхиме печени, $\times 400$; е – граница между нормальной тканью и гранулемой, $\times 1000$

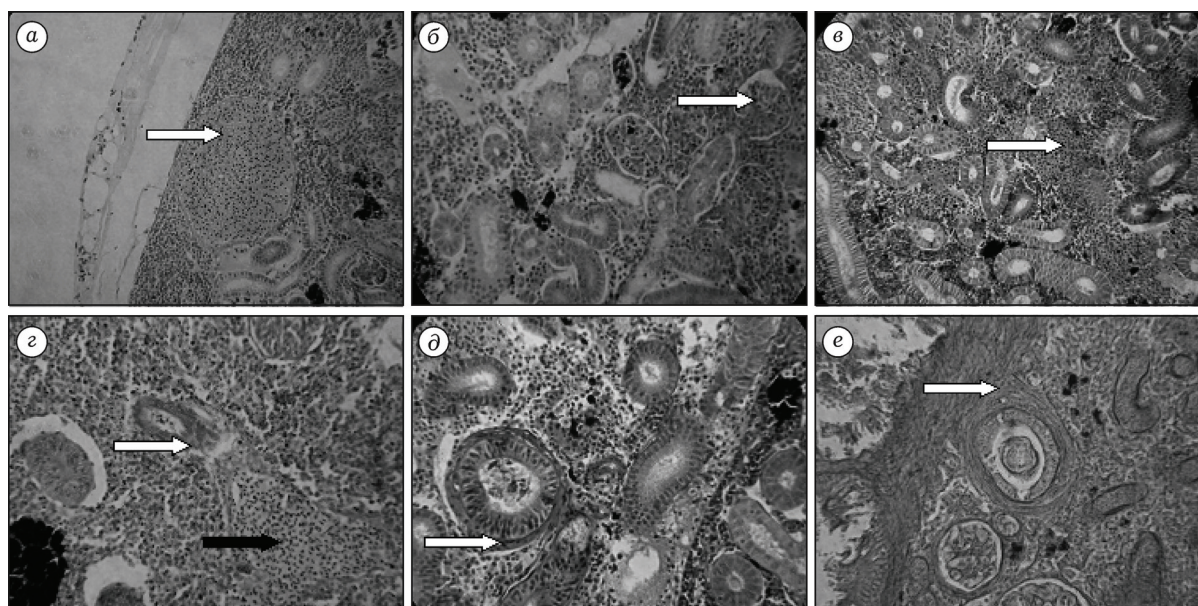


Рис. 6. Циркуляторные и прогрессивные изменения в почках сига: а – венозный стаз, $\times 400$; б – увеличенное количество эритроцитов в капсуле гломерулы, $\times 400$; в – кровоизлияние в интерстициальной ткани, $\times 250$; г – кровоизлияние (черная стрелка) и соединительно-тканное разрастание вокруг кровеносного сосуда (белая стрелка), $\times 400$; д – утолщение базальной мембраны почечного канальца, $\times 400$; е – соединительно-тканное разрастание вокруг почечного канальца, $\times 400$

судов и утолщением базальной мембраны почечных канальцев (см. рис. 6, г-е). Регрессивные изменения, такие как дегенерация эпителия почечных канальцев, расширение просвета почечных канальцев, наличие белкового детрита, некроз канальцев или очаги некроза в паренхиме почек, являются неспецифическими поражениями. У рыб из оз. Стуораярви наблюдалась вакуольная дистрофия эпителия канальцев и гломеруловых капсул, в редких случаях – некроз эпителия. Клетки с жировой дистрофией найдены в гемопоэтической ткани у сига из оз. Куэтсъярви (рис. 7, а). Дистрофия эпителия почечных канальцев слабой или средней степени выраженности, очаги некробиоза с выраженными пикнотичными ядрами отмечались у рыб из р. Пасвик (ст. Раякоски) (см. рис. 7, б). Очаги некроза интерстициальной ткани выявлены у сига из оз. Стуораярви (см. рис. 7, в). Многочисленными оказались случаи отложения гемосидерина в почках рыб из всех обследованных водоемов (см. рис. 7, д). Неспецифическое острое воспаление встречалось у сига из оз. Стуораярви и ст. Скрюккебухта. Опухоли (маленькие неспецифические гранулемы) обнаружены у рыб из оз. Стуораярви (см. рис. 7, е).

В предыдущих исследованиях по влиянию выбросов комбината “Печенганикель” показано, что для многих проанализированных тяжелых металлов характерен тренд на снижение их концентрации в воде, донных отложениях и тканях рыб по мере удаления от предприятия (табл. 2). Наиболее высокие концентрации никеля и меди выявлены в оз. Куэтсъярви, средние – на ст. Скрюккебухта (р. Пасвик) и низкие – в остальных водоемах, расположенных на расстоянии 40 км и более от источника выбросов [Amundsen et al., 2011]. Патологии внутренних органов рыб, выявляемые при визуальном осмотре, наблюдались в оз. Куэтсъярви начиная с 1990-х гг. [Reshetnikov et al., 2002; Lukin et al., 2003]. Вместе с тем анализ изменений на клеточном уровне проводился впервые.

Жабры являются многофункциональным органом, отвечающим за дыхание, осморегуляцию, кислотно-щелочной баланс и экскрецию ненужных метаболитов. Этот орган очень чувствителен к наличию растворенных химических соединений, поскольку имеет значительную поверхность, непосредственно контактирующую с водой [Au, 2004; Camargo, Martinez, 2007]. Поллютанты служат причиной отека и разрушения вторичных ламелл

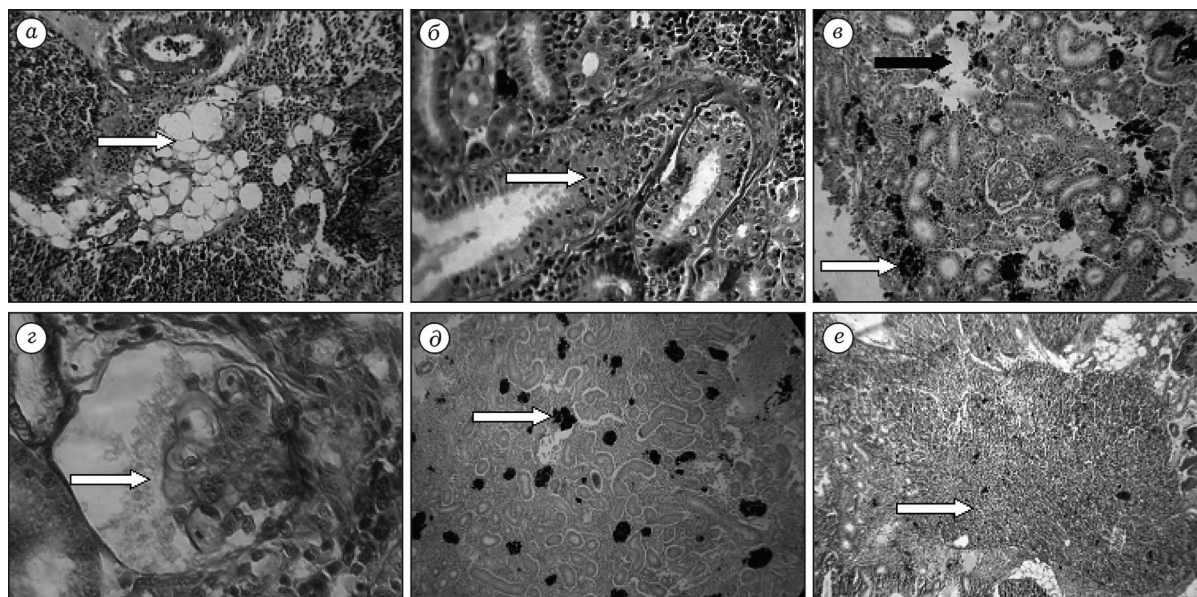


Рис. 7. Регрессивные и воспалительные изменения в почках сига: а – жировые клетки в гемопоэтической ткани, $\times 1000$, б – пикноз ядер эпителия почечных канальцев, $\times 400$; в – отложения гемосидерина (белая стрелка) и очаги некроза в гемопоэтической ткани (черная стрелка), $\times 400$; г – атрофия гломерулы, сегментарный некроз капилляров гломерулы, $\times 1000$, д – отложения гемосидерина, $\times 250$; е – гранулема в гемопоэтической ткани, $\times 400$

и появления очагов некробиоза и некроза. Изменения в жабрах, при всей своей наглядности, не специфичны и могут вызываться весьма широким спектром загрязнителей, таких как тяжелые металлы, нефтяные соединения, удобрения и т. д. [Stegeman et al., 1992; Jönsson et al., 2004]. У исследованных рыб отек и слущивание респираторного эпителия на вторичных ламеллах наблюдались значительно чаще, чем гиперплазия и некроз. Обычными оказались и циркуляторные патологии. Гиперплазия эпителия, сращивание филламентов и вторичных ламелл более характерны для рыб из средне- и сильно загрязненных водоемов. Преимущественно в сильно загрязненных озерах выявлены интенсивная пролиферация вставочного респираторного эпителия, сращивание ламелл и очаги некроза. Особенности распределения жаберных гистопатологий хорошо коррелировали с содержанием в рыбах тяжелых металлов, наиболее высокие концентрации никеля и меди зарегистрированы в оз. Куэтсъярви [Amundsen et al., 2011], где встречались и наиболее серьезные повреждения жабр.

Печень также является чувствительным к загрязнению органом, поскольку многие поллютанты имеют тенденцию аккумулироваться в

ней, достигая значительно более высоких уровней содержания, чем в воде. Такие нарушения, как отек печени и некробиоз, встречались во всех исследованных озерах. Значительные повреждения печени в виде очагов некроза и опухолей отмечены в наиболее загрязненном оз. Куэтсъярви. Как и в жабрах, в печени сигов зарегистрированы наибольшие концентрации никеля, меди и кадмия. Многочисленные гистопатологии в печени рыб из оз. Стуораярви объясняются высокими концентрациями ртути как в самом водоеме, так и в тканях рыб [Amundsen et al., 2006]. В умеренно загрязненных водоемах у рыб наблюдалась повышенная пролиферативная активность и неспецифическое воспаление. Выявленные патологии, как и в случае с жабрами, также не являются специфичными.

В слабо загрязненных водоемах и в оз. Стуораярви гистопатологии почек регистрировались сравнительно редко. Отмечались некроз эпителиальных клеток в почечных канальцах, отложения гемосидерина и накопление клеточного детрита в просвете почечных канальцев. В значительно загрязненных водоемах возрастала частота встречаемости патологий и их тяжесть. Выявлены обширные очаги некроза в гемопоэтической ткани и почечных

Размерно-весовые характеристики и содержание тяжелых металлов в малотычиновых сигах

	Озеро			Река Пасвик			Озеро
	Стуораяври	Айтояври	Кангоярви	Раякоски	Ваггатеи	Скряккёбухта	Куэгъярви
Длина (см)	26,8 ± 1,0	22,2 ± 0,5	20,1 ± 1,0	22,5 ± 1,0	31,0 ± 1,0	21,2 ± 0,7	14,7 ± 0,3
Масса (г)	353 ± 28	144 ± 14	97 ± 37	124 ± 16	373 ± 22	132 ± 14	29 ± 2
N, экз	44	100	72	129	84	201	241
Жабры	1,16 ± 0,04	0,83 ± 0,09	1,15 ± 0,05	0,85 ± 0,09	1,63 ± 0,19	2,92 ± 0,27	8,73 ± 1,03
Печень	0,93 ± 0,03	1,09 ± 0,05	0,64 ± 0,09	0,87 ± 0,23	0,74 ± 0,06	2,22 ± 0,34	6,56 ± 3,65
Почки	1,94 ± 0,14	6,31 ± 0,59	1,66 ± 0,37	1,73 ± 2,02	1,95 ± 0,59	14,3 ± 1,42	25,2 ± 2,68
Жабры	1,58 ± 0,09	1,44 ± 0,11	1,53 ± 0,08	1,49 ± 0,12	1,42 ± 0,17	1,79 ± 0,12	5,15 ± 0,84
Печень	14,5 ± 5,02	32,5 ± 5,58	19,1 ± 2,14	26,8 ± 2,57	5,60 ± 2,13	20 ± 8,03	46,4 ± 5,02
Почки	8,13 ± 0,73	9,59 ± 1,00	6,04 ± 1,15	9,64 ± 0,96	13,0 ± 2,31	7,4 ± 0,99	10,9 ± 1,16
Жабры	0,18 ± 0,02	0,29 ± 0,04	0,62 ± 0,04	0,04 ± 0,00	0,16 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,01 ± 0,00
Печень	0,74 ± 0,12	1,71 ± 0,87	2,07 ± 0,13	0,17 ± 0,02	0,48 ± 0,08	0,33 ± 0,03	0,07 ± 0,02
Почки	1,35 ± 0,17	2,16 ± 0,38	1,93 ± 0,14	0,22 ± 0,03	0,57 ± 0,10	0,56 ± 0,09	0,05 ± 0,01
N, экз.	11	10	14	12	10	13	10

Примечание. Приведены медианные значения и ошибка ($M \pm m$).

канальцах, неспецифические гранулемы и пролиферация слабо дифференцированных клеток (возможно, опухолей).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гистопатологические индикаторы достаточно чувствительны к ухудшению качества среды и показывают произошедшие изменения на клеточном уровне много раньше, чем они будут обнаруживаться визуально, методом макродиагностики. Впервые для данного региона выявлен и идентифицирован широкий спектр гистопатологий жабр, печени и почек у обыкновенного сига, обитающего в водоемах с различным уровнем содержания тяжелых металлов. Полученные результаты продемонстрировали, что частота встречаемости и степень выраженности гистопатологий коррелировали с концентрацией ТМ в тканях рыб. Во всех исследованных водоемах у рыб выявлялись циркуляторные, прогрессивные и регрессивные гистопатологии. Являясь неспецифичными реакциями, изменения отражают наличие повреждающего фактора. В слабо загрязненных водоемах с сублетальными концентрациями тяжелых металлов преобладали воспалительные и структурные изменения. В значительно нарушенных условиях с многократным превышением в воде ПДК_{рбхз} по никелю и меди доминировали некрозы и некробиозы, отмечались опухоли.

Выявленные в финских озерах Айтоярви и Кантоярви гистопатологии можно объяснить высоким содержанием ртути в этих водоемах и, соответственно, в тканях сигов. Источником поступления ртути мы считаем трансграничный перенос этого элемента.

Учитывая неспецифичность ответных реакций, об экологическом неблагополучии можно судить, только сопоставляя частоту встречаемости гистопатологии и степень ее выраженности в конкретном водоеме с установленной для данного региона “нормой”, определенной в условно-фоновых по качеству воды водоемах.

Авторы выражают искреннюю благодарность профессору Per-Arne Amundsen и всем коллегам из Norwegian College of Fishery Science, University of Tromsø за помощь в совместных исследованиях, координаторам проекта за финансовую поддержку данных исследований.

Работа выполнена в рамках проекта “Development and implementation of an environmental monitoring and assessment programme in the joint Finnish, Norwegian and Russian border area” (Interreg III A Kolarctic).

ЛИТЕРАТУРА

- Кашулин Н. А., Решетников Ю. С. Накопление и распределение никеля, меди и цинка в органах и тканях рыб в субарктических водоемах, загрязняемых выбросами медно-никелевого комбината // *Вопр. ихтиологии*. № 6. 1995. С. 663–675.
- Лукин А. А., Шарова Ю. Н. Оценка качества вод на основе гистологических исследований // *Водные ресурсы*. Т. 31, № 4. 2004. С. 481–486.
- Роскин Г. И., Левинсон Л. Б. *Микроскопическая техника*. М.: Сов. наука, 1957. 469 с.
- Решетников Ю. С., Попова О. А., Кашулин Н. А., Лукин А. А. и др. Оценка благополучия рыбной части водного сообщества по результатам морфопатологического анализа рыб // *Успехи совр. биологии*. 1999. Т. 119, № 2. С. 165–177.
- Шарова Ю. Н., Лукин А. А. Общепатологические и компенсаторные реакции рыб водоемов Северо-запада России при загрязнении // *Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: мат-лы IV Междунар. конф.* Вологда. 2005. С. 19–21.
- Adams S. M. Status and use biological indicators for evaluating the effects of stress on fish // *American Fisheries Society Symposium*. Vol. 8: 1990. P. 1–8.
- Amundsen P.-A., Staldivik F. J., Lukin A. A., Kashulin N. A., Popova O. A., Reshetnikov Yu. S. Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia // *Sci. Total Environ*. 1997. Vol. 201. P. 211–224.
- Amundsen P.-A., Kashulin N. A., Koroleva I. M., Gjelland K. Ø., Terentjev P. M., Lien C., Dalsbø L., Sandimirov S. S., Kudryavtseva L. P., Knudsen R. Environmental monitoring of fish in the Paz watercourse // *A sub-report of the InterReg project “Development and implementation of an integrated environmental monitoring and assessment system in the joint Finnish, Norwegian and Russian border area, 2003–2006”*. Norwegian College of Fishery Science, University of Tromsø, Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Centre. 2006. 88 p.
- Amundsen P.-A., Kashulin N. A., Terentjev P., Gjelland K. Ø., Koroleva I. M., Dauvalter V. A., Sandimirov S., Kashulin A. N., Knudsen R. Heavy metal contents in whitefish (*Coregonus lavaretus*) along a pollution gradient in a subarctic watercourse // *Environ. Monit Assess*. 2011. Vol. 182. P. 301–316.
- Anderson M. J., Barron M. G., Diamond S. A., Lipton J., Zelikoff J. T. Biomarker selection for restoration monitoring of fishery resources // *Environ. Toxicol. and Risk Assess: Modelling and Risk Assess*. 1997. Vol. 6. P. 333–359.
- Au D. W. T. The application of histo-cytopathological biomarkers in marine pollution monitoring: a review // *Marine Pollution Bull*. 2004. Vol. 48. P. 817–834.
- Bernet D., Schmidt H., Meier W., Burkhardt-Holm P., Wahli T. *Histopathology in fish: proposal for a protocol*

- to assess aquatic pollution // *J. Fish Diseases*. 1999. Vol. 22. P. 25–34.
- Camargo, Martinez M. M. P. Histopathology of gills, kidney and liver of Neotropical fish caged in an urban stream // *Neotropical Ichthyology*. 2007. Vol. 5, N 3. P. 327–336.
- Dauvalter V. A. Concentration of heavy metals in superficial lake sediments of Pechenga district, Murmansk region, Russia // *Vatten*. 1992. Vol. 48. P. 141–145.
- Dauvalter V. A. Impact of mining and refining on distribution and accumulation of nickel and other heavy metals in sediments of subarctic Lake Kuetsjarvi, Murmansk Region, Russia // *J. Environ. Monit.* 2003. N 5. P. 210–215.
- Dauvalter V. A., Rognerud S. Heavy metals pollution in sediment of the Pasvik River drainage // *Chemosphere*. 2001. N 42. P. 9–18.
- Dauvalter V., Kashulin N., Sandimirov S., Terentjev P., Denisov D., Amundsen P.-A. Chemical composition of lake sediments along a pollution gradient in a Subarctic watercourse // *J. Environ. Sci. and Health*. 2011. Pt A 46. P. 1020–1033.
- Jönsson M. E., Brunstrom B., Ingebrigtsen K., Brandt I. Cell-specific CYP1 A expression and benzo[a]pyrene adduct formation in gills of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) following CYP1 A induction in the laboratory and in the field // *Environ. Toxicol. Chem.* 2004. Vol. 23, N 4. P. 874–882.
- Kashulin N. A., Reshetnikov J. S., Amundsen P.-A. Response of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) to heavy metal pollution in lakes at the Russian-Norwegian border // *Environmental Pollution of the Arctic*. Tromsø, Norway, 1997. P. 210–212.
- Kashulin N. A., Ratkin N. E., Dauvalter V. A., Lukin A. A. Impact of airborne pollution on the drainage area of subarctic lakes and fish // *Chemosphere*. 2001. Vol. 42. P. 51–59.
- Kashulin N. A., Terentyev P. M., Amundsen P.-A., Dauvalter V. A., Sandimirov S. S., Kashulin A. N. Specific Features of Accumulation of Cu, Ni, Zn, Cd, and Hg in Two Whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) Morphs Inhabiting the Inari–Pasvik Lacustrine–Riverine System // *Inland Water Biol.* 2011. Vol. 4, N 3. P. 383–392.
- Koroleva I. M., Kashulin N. A. The use of a haematological and histopathological parameters for estimation health of whitefish in conditions of influence mining and metallurgic industry // 12th Int. symp. on the biology and management of coregonid fishes. 25–30 August 2014. Listvyanka – Irkutsk, 2014. P. 41.
- Lukin A. A., Dauvalter V. A., Kashulin N. A., Yakovlev V., Sharov A., Vandyshev O. Assessment of copper-nickel industry impact on a subarctic lake ecosystem // *Sci. Total Environ.* 2003. N 306. P. 73–83.
- Moiseenko T. I., Kudryavtseva L. P., Rodyushkin I. V., Dauvalter V. A., Lukin A. A., Kashulin, N. A. Airborne contamination by heavy metals and aluminium in the freshwater ecosystems of the Kola Subarctic region (Russia) // *Ibid.* 1995. N 160. P. 715–727.
- Reshetnikov Y. S., Popova O. A., Kashulin N. A., Lukin A. A., Amundsen P.-A. Development of an index to assess the effect of heavy metal pollution on fish populations // *Archiv für Hydrobiologie, Special Iss. Advanced Limnology*. 2002. N 57. P. 221–231.
- State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area // *The Finnish Environment / eds K. Stebel, G. Christensen, J. Derome, I. Grekelä*. 2007. 98 p.
- Stegeman J. J., Brouwer M., Di Giulio R. T., Forlin L., Fowler B., Sanders B. M., Van Veld P. A. Biochemical Physiological and Histological Markers of Anthropogenic Stress / ed. R. Huggett, R. Kimerle, P. Mehrle, H. Bergman. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1992. P. 247.
- Traaen T. S., Moiseenko T., Dauvalter V., Rognerud S., Henriksen A., Kudryavtseva L. Acidification of surface water and nickel and copper in water and lake sediments in the Russian-Norwegian border areas. Progress report for 1989–1990 // *The Norwegian-Russian Environmental Protection Commission, Oslo (Norway) and Apatity (Russia)*. 1991. 20 p.

Histopathologic Characteristics of Coregonid Fishes under the Impact of Metal Industry

I. M. KOROLEVA, N. A. KASHULIN

*Institute of Industrial Ecology Problems of the North, RAS
184209, Apatity, Fersman str., 14A
E-mail: koririn@yandex.ru*

The results of monitoring studies of the state of the common whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) inhabiting the Paatsjoki River and several lakes of Northern Fennoscandia were presented. The water-collecting area is contaminated with copper, nickel and sulfur dioxide due to airborne emissions of the “Pechenganickel” smelter. The ecological situation near the smelter is characterized as very unfavorable and requires constant control over the state of aquatic ecosystems. We used histopathology of gills, liver and kidneys as biomarkers to diagnose the condition of sparsely rakered whitefishes. The changes of cell structure in the fishes were diagnosed and classified. The revealed abnormalities were connected with the long-term exposure of the studied water bodies to airborne contamination. The possibility of using the obtained to evaluate the water quality was considered.

Key words: common whitefish (*Coregonus lavaretus* L.), heavy metals, the Kola Peninsula, histopathology, biomarkers.