

о нарушении стабильности развития и ухудшении условий местообитания. Во всех остальных вариантах опыта (Заонежский п-ов, г. Костомукша, окрестности Костомукшского ГОКа) отмечен широкий диапазон варьирования показателя ФА (от низких до высоких значений) у растений, произрастающих на одной опытной площадке. Можно предположить, что значимость локальных условий местообитания для каждого дерева была очень высокой и реакция

каждого растения перекрывала воздействие исследуемого фактора.

Таким образом, проведенное исследование показало, что оценка состояния природных и антропогенно трансформированных экосистем при помощи показателя ФА может быть успешно использована только в условиях высокого уровня загрязнения природной среды, сила которого нивелирует действие локальных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О. П. Мелехова, Е. И. Егорова, Т. И. Евсеева и др.; под ред. О. П. Мелеховой и Е. И. Егоровой. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 288 с.

Василевская Н. В., Тумарова Ю. М. Оценка стабильности развития популяций *Pinus sylvestris* L. в условиях аэротехногенного загрязнения (Мурманская область) // Тр. Карельского научного центра РАН. Вып. 7. Биогеография Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 19–23.

Захаров В. М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход). М.: Наука, 1987. 215 с.

Захаров В. М. Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) // Экология. 2001. № 3. С. 164–168.

Захаров В. М., Чубинишвили А. Т. Мониторинг здоровья среды на охраняемых природных территориях. М., 2001. 147 с.

Зорина А. А., Коросов А. В. Характеристика флуктуирующей асимметрии листа двух видов берез в Карелии // Тр. Карельского научного центра РАН. Вып. 11. Экология. Экспериментальная генетика и физиология. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 28–36.

Сазонова Т. А., Теребова Е. Н., Галибина Н. А. и др. Оценка функционального состояния *Pinus sylvestris* L. в условиях слабого загрязнения // Биоэкологические аспекты мониторинга лесных экосистем Северо-Запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 157–174.

Шадрин Д. Я., Вольперт Я. Л., Данилов В. А., Шадрин Д. Я. Биоиндикация воздействия горнодобывающей промышленности на наземные экосистемы севера: Морфогенетический подход. Новосибирск: Наука, 2003. 110 с.

Kozlov M. V., Wilsey B. J., Koricheva J., Haukioja E. Fluctuating asymmetry of birch leaves increases under pollution impact // Journal of Applied Ecology. 1996. Vol. 33. P. 1489–1495.

Leamy L. J., Klingenberg C. P. The Genetics and Evolution of Fluctuating Asymmetry // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 2005. Vol. 36. P. 1–21.

ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ОРГАНИЗМА РЫБ НА ХРОНИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ПЕЧОРЫ)

Л. А. Беличева, Ю. Н. Шарова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

ВВЕДЕНИЕ

Экологическая обстановка в бассейне р. Печоры – одной из крупнейших водных систем Северо-Запада России – уже в течение длительного времени характеризуется как напряженная. Загрязнение р. Печоры и ее притоков началось еще в 50-е гг. XX в. и связано с развитием угольной и нефтяной промышленности. Спектр антропогенных факторов, оказывающих наибольший негативный эффект на экосистему р. Печоры, включает: нефтепродукты, тяжелые металлы, промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды. Усиление антропогенной нагрузки на водные экосистемы диктует необходимость детального анализа их состояния,

который подразумевает не только определение содержания загрязняющих веществ в воде, грунтах и биоте, но и выявление ответных реакций гидробионтов на действие этих загрязнителей.

Исследования последних лет свидетельствуют о трансформации экосистемы р. Печоры, которые выражаются в изменениях количественного и качественного состава организмов различных экологических групп. Известно, что в основе любых изменений популяционных параметров лежат изменения на более низких уровнях организации (молекулярного, тканевого, организменного). Цель данной работы – исследовать реакцию организма рыб на хроническое антропогенное воздействие. Выбор объекта

исследований связан с положением рыб в трофической структуре и их способностью аккумулировать негативные эффекты антропогенного воздействия на экосистему. Для оценки ответной реакции организма на длительное воздействие загрязняющих веществ использовали гистологический анализ, который представляет собой надежный метод получения достоверной информации о степени негативного воздействия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на половозрелых особях язя *Leuciscus idus* (Linnaeus 1758) и сига *Coregonus lavaretus* (Linnaeus 1758), отловленных на различных участках бассейна р. Печоры осенью 2008 г.

Для гистологического анализа рыб отбирались жабры, печень и почки. Для получения гистологических препаратов органы фиксировались с использованием жидкости Буэна. Обработка проб проводилась общепринятыми гистологическими методиками (Волкова, Елецкий, 1982) с использованием в качестве красителя гематоксилин-эозина.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Жабры, с одной стороны, чрезвычайно чувствительны к изменениям качества воды, а с другой – находятся в постоянном контакте с внешней средой. В связи с этим они рассматриваются как один из главных органов-мишеней для различных повреждающих агентов (Mallat, 1985). А гистопатологические изменения в жабрах рыб часто используются для индикации загрязнения окружающей среды (Шаро-

ва, Лукин, 2008; Schmidt-Posthaus et al., 2001; Trebskorn et al., 2008).

В ходе микроскопического анализа данного органа у рыб двух видов нами был выявлен широкий спектр патологий: гиперплазия (рис. 1, б), слабая гипертрофия и отек респираторного эпителия; искривление и слипание респираторных ламелл (см. рис. 1, б); лизис последних, приводящий к их укорочению или полному разрушению; десквамация респираторного эпителия, особенно в местах гиперплазии. В ряде случаев гиперплазия приводила не только к слипанию соседних ламелл, но и к слипанию смежных филаментов.

Диагностируемые нами изменения приводят к сокращению общей диффузной поверхности жабр и гипоксии, несмотря на то, что изначально гипертрофия и гиперплазия имеют приспособительное значение, направленное на компенсацию функции поврежденного органа. Ряд авторов рассматривают их как защитные реакции организма, так как в результате этих процессов происходит увеличение диффузионного барьера между окружающей средой и кровью и, тем самым, предотвращение попадания загрязняющих веществ в организм (Матей, 1996; Mallat, 1985). Следствием слияния респираторных ламелл является уменьшение площади газообмена и увеличение барьера для поглощения загрязняющих веществ (Lauren, McDonald, 1985; Van Heerden et al., 2004).

Следует отметить, что патологии, сходные с вышеупомянутыми, наблюдались у рыб под воздействием различного типа загрязняющих веществ, в частности, промышленных и муниципальных сточных вод (Billiard, Khan, 2003), нефтепродуктов (Nero et al., 2006), тяжелых металлов (Khan et al., 2004; Mohamed, 2008), пес-

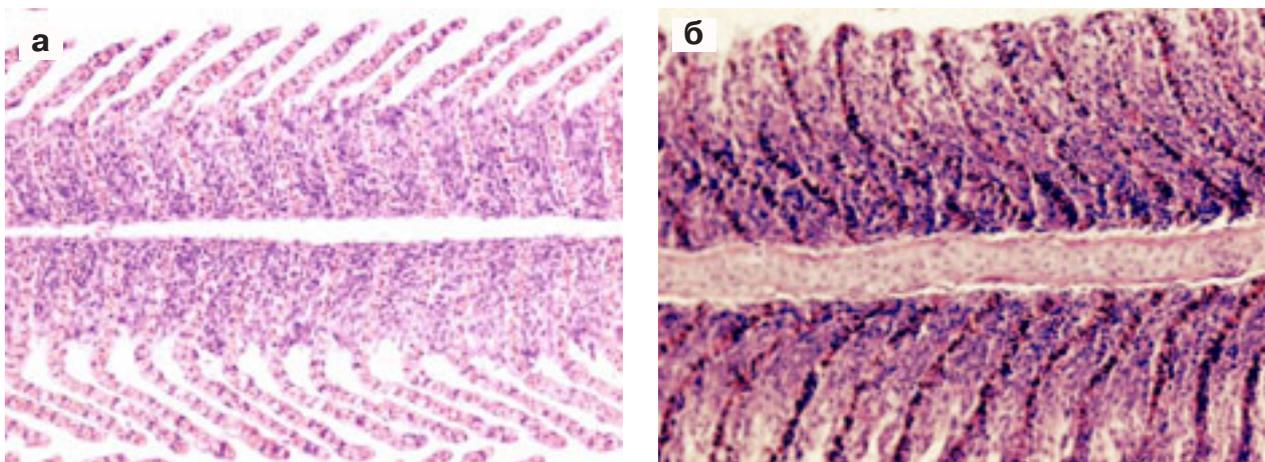


Рис. 1. Жабры язя:

а – нормальная структура; б – гемолиз эритроцитов, гиперплазия эпителия (увеличение 200)

тицидов (Das, Mukherjee, 2000). Однако некоторые исследователи связывают развитие данных повреждений с наличием алиментарных заболеваний (Das, Mukherjee, 2000).

Среди нарушений кровообращения нами были отмечены: кровоизлияния, стазы (нарушения течения и стояния крови); нарушения кровенаполнения; редкие случаи появления аневризм и диапедеза эритроцитов, а также агрегация эритроцитов в виде монетных столбиков (сладж). Зарегистрированные нами многочисленные и обширные кровоизлияния часто были связаны с разрывами клеток жабберного эпителия. Как и аневризмы, данный тип патологии может рассматриваться как отражение прямого действия токсического агента на ткани (Temmink et al., 1983).

У исследуемых нами рыб одной из наиболее частых патологий был гемолиз эритроцитов (см. рис. 1, б). Также достаточно распространенным повреждением являлось разрастание соединительной ткани, приводящее к развитию фиброзов и нарушению структуры филамента. Ряд исследователей (Baumann, Harshbarger, 1998) связывают появление фиброзных разрастаний с действием хлорорганических соединений (ПАУ, ПХБ, ДДТ).

В связи с тем что *печень* является главным органом, отвечающим за процессы детоксикации и биотрансформации загрязняющих веществ, часто она является одним из наиболее чувствительных к загрязнению органов.

У обоих видов в данном органе были зарегистрированы дегенеративные изменения: очаговые некрозы паренхиматозной ткани (рис. 2, б), небольшие очаги кариопикноза. Следует отметить, что некротические изменения в печени были продемонстрированы при воздействии широко круга загрязняющих веществ: нефте-

продуктов (Nero et al., 2006), ПХБ (Chang et al., 1998), пестицидов (Das, Mukherjee, 2000), меди (Figueiredo-Fernandes et al., 2007) и других тяжелых металлов (Mohamed, 2008).

В целом же патологии дегенеративного типа в данном органе могут быть связаны также с недостатком кислорода, вследствие наблюдаемых нами изменений в жабрах и/или стазаирования сосудов и гемолиза эритроцитов (Mohamed, 2008).

Для *язей* помимо перечисленных дегенеративных изменений печени было характерно развитие липидозов (нарушений метаболизма липидов). В ряде случаев фиксировалось разрушение клеток паренхимы вследствие избыточной вакуолизации. Развитие данной патологии рассценивается как ответная реакция на широкий круг повреждающих факторов, в частности, на действие канцерогенных веществ (Hendricks et al., 1984). А Шранк и соавторы (Schrank et al., 1997) указывают на наличие данных патологий у рыб, обитающих в реках, загрязненных ПАУ и ПХБ. Однако обнаруженная нами видоспецифичность данной патологии не позволяет нам связать ее с воздействием поллютантов, возможно, ее развитие обусловлено изменением определенных факторов окружающей среды, например, пищевых (Wolf, Wolfe, 2005).

Кроме того, в печени наблюдались нарушения кровотока (стазы), сопровождавшиеся гемолизом эритроцитов и разрушением форменных элементов крови, соединительнотканное разрастание вокруг сосудов, а также кровоизлияния различной степени тяжести (см. рис. 2, б). Фиброзные разрастания вокруг кровеносных сосудов и желчных протоков в печени были отмечены рядом исследований при загрязнении нефтепродуктами – ПАУ и ПХБ (Rousseaux et al., 1995; Koronen et al., 2001).

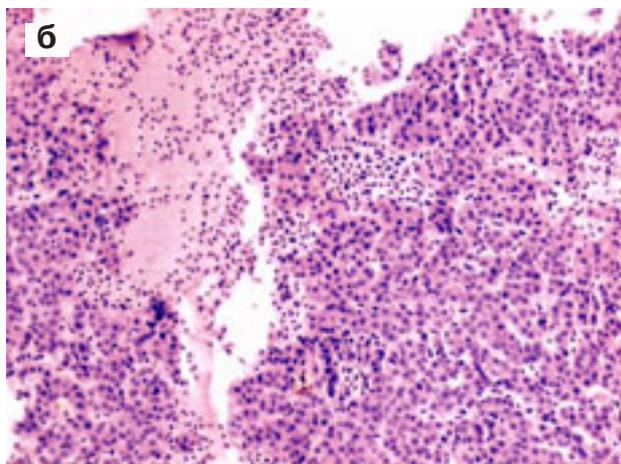
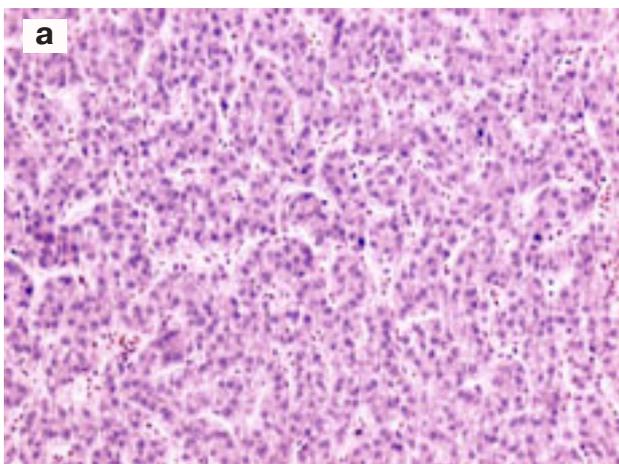


Рис. 2. Печень сига:

а – нормальная структура; б – обширное кровоизлияние и некроз гепатоцитов (увеличение 200)

У ряда рыб выявлены признаки воспалительной реакции – инфильтрация лейкоцитов, образование экссудата. Однако данный тип гистопатологических изменений развивается в ответ на широкий круг стрессовых факторов и не может быть связан лишь с определенным типом загрязняющих веществ (Nero et al., 2006).

Почки у костных рыб являются одним из первых органов, которые поражаются загрязняющими веществами (Thophon et al., 2003). Возможно, это связано с тем, что данный орган хорошо снабжается кровью и является главным путем выведения метаболитов, образовавшихся в процессе биотрансформации различных ксенобиотиков.

Микроскопирование тканей данного органа выявило ряд патологических изменений, большинство из которых также не являются специфичными. В ходе исследования в почках рыб были диагностированы очаговые зоны некроза клеток стромы органа, случаи некроза канальцев и клубочков. Следует отметить, что наблюдаемые нами некротические изменения часто были связаны с обширными кровоизлияниями. Некроз не является специфической ответной реакцией на определенные загрязняющие вещества, согласно литературным данным эта патология регистрируется при воздействии фенольных соединений (Gupta, Dalela, 1987), пестицидов (Das, Mutherjee, 2000), ртути (Khan et al., 2004).

Часто встречаемые признаки воспалительной реакции в почках сигов – отслоение базальной мембраны от эпителия канальцев, воспаление клубочков – возможно, были связаны с отмеченной нами множественной паразитарной инвазией. Аналогичные нарушения, диагностированные у язей, определялись иными факторами окружающей среды, так как у них паразитов не обнаружено. В целом присутствие пара-

зитов по-разному отражалось на состоянии организма рыб: зарегистрированные цисты паразитов приводили к развитию воспалительной реакции пролиферативного типа; следствием инвазии *Tetracapsuloides bryosalmonae* являлось развитие гранулем; а присутствие вида *Sphaerospora renicola* приводило к закупорке почечных канальцев (рис. 3, б).

Гистологический анализ почек также выявил дегенеративные изменения и случаи атрофии клубочков (см. рис. 3, б); чрезмерное разрастание соединительной ткани вокруг канальцев и клубочков; утолщение соединительнотканной стенки сосудов; наличие фиброзных образований. В ходе гистологического анализа также было зафиксировано наличие стазированных сосудов; в ряде сосудов наблюдалось разрушение форменных элементов крови и гемолиз эритроцитов (см. рис. 3, б).

В почках рыб также наблюдались дистрофии: нарушения обмена липидов (липидоз) и хромопротеинов (гемосидероз). Причем, если жировые дистрофии фиксировались у обоих видов, то накопление гемосидерина отмечалось только у сигов. По-видимому, имеется определенная видовая специфика в развитии данного типа патологической реакции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, все диагностируемые у рыб р. Печоры патологии можно объединить в следующие группы патологических изменений:

1. Прогрессивные изменения:
 - гипертрофия;
 - гиперплазия.
2. Нарушения кровообращения:
 - нарушения кровенаполнения (полнокровие);

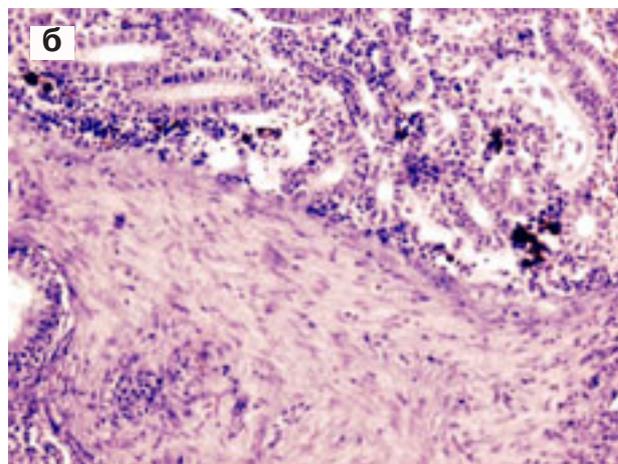
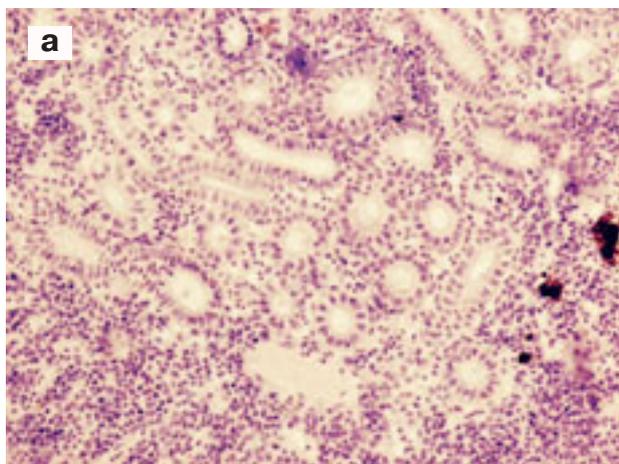


Рис. 3. Почки сига:

а – нормальная структура; б – фиброзное разрастание (увеличение 200)

- нарушение стенки сосудов (кровоизлияния, аневризмы);
 - кровотечения, не связанные с повреждением стенки сосудов (диапедез эритроцитов);
 - нарушение течения и состояния крови (стазы);
 - сладж.
3. Регрессивные нарушения:
- нарушения тканевого метаболизма: паренхиматозные (липидозы) и смешанные дистрофии (гемосидерозы); нарушения водного обмена (отек);
 - некротические процессы: очаги некроза и карнопикноза, лизис;
 - гемолиз эритроцитов и разрушение форменных элементов крови;
 - атрофия почечных клубочков;
 - нарушения архитектоники жаберного аппарата.
4. Неопластические изменения – фиброзы.
5. Признаки воспалительной реакции:
- инфильтрация лейкоцитов;

- образование экссудата;
 - воспаление клубочков.
6. Паразитарная инвазия.

Подводя итог, можно заключить, что наблюдаемые нами гистопатологические изменения в жабрах, печени и почках свидетельствуют о формировании у рыб ответной реакции на изменение качества окружающей среды. Несмотря на то что в ряде случаев нами была выявлена определенная видоспецифичность и зависимость развития отдельных патологий от техногенного фактора и интенсивности антропогенной нагрузки, необходимо отметить, что все диагностированные патологии носили неспецифический характер. В целом можно сделать вывод, что выявленные гистопатологические изменения свидетельствуют о хронических заболеваниях, связанных с нарушениями функционирования организма. И хотя причины развития данных повреждений могут быть различны, часто фактором, определяющим проявление подобных патологий, является загрязнение водоема.

ЛИТЕРАТУРА

Волкова О. В., Елецкий Ю. К. Основы гистологии с гистологической техникой. М.: Медицина, 1982. 304 с.

Матей В. Е. Жабры пресноводных костистых рыб: Морфофункциональная организация, адаптация, эволюция. СПб.: Наука, 1996. 204 с.

Шарова Ю. Н., Лукин А. А. Последствия влияния загрязнения на организмы рыб // Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 196–210.

Baumann P. C., Harshbarger J. C. Long term trends in liver neoplasm epizootics of brown bullhead in black river, Ohio // Environ. Monit. Assess. 1998. Vol. 53. P. 213–223.

Billiard S. M., Khan R. A. Chronic stress in cunner, *Tautoglabus adspersus*, exposed to municipal and industrial effluents // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2003. Vol. 55. P. 9–18.

Chang S., Zdanowicz V. S., Murchelano R. A. Associations between liver lesions in winter flounder (*Pleuronectes americanus*) and sediment chemical contaminants from north-east United States estuaries // J. of Marine Sci. 1998. Vol. 55. P. 954–969.

Das B. K., Murherjee S. C. A histopathological study of carp (*Labeo rohita*) exposed to hexachlorocyclohexane // Vet. arhiv. 2000. Vol. 70, N 4. P. 169–180.

Figueiredo-Fernandes A., Ferreira-Cardoso J. V., Garcia-Santos S. et al. Histopathological changes in liver and gill epithelium of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, exposed to waterborne copper // Pesq. Vet. Bras. 2007. Vol. 27, N 3. P. 103–109.

Gupta A. K., Dalela R. C. Kidney damage in *Notopterus notopterus* (Pallus) following exposure to phenolic compounds // J. Environ. Biol. 1987. Vol. 10. P. 167–172.

Hendricks J. D., Meyers T. R., Shelton D. W. Histological progression of hepatic neoplasia in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) // Natl Cancer Inst. Monogr. 1984. Vol. 65. P. 321–336.

Khan M. S., Khan S. A., Chaudhary Z. I. et al. Mercury intoxication in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) // Pakistan Vet. J. 2004. Vol. 24, N 1. P. 33–38.

Koponen K., Myers M. S., Ritola O. et al. Histopathology of feral fish from PCB-contaminated freshwater lake // Ambio. 2001. Vol. 30, N 3. P. 122–126.

Lauren D. J., McDonald D. G. Effects of copper on branchial ionoregulation in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson: modulation by water hardness and pH // J. Comp. Physiol. B. 1985. Vol. 155. P. 635–644.

Mallat J. Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants: a statistical review // Can. J. Fish Aquat. Sci. 1985. Vol. 42. P. 630–648.

Mohamed F. A. Bioaccumulation of selected metals and histopathological alterations in tissues of *Oreochromis niloticus* and *Lates niloticus* from lake Nasser, Egypt // Global veterinaria. 2008. Vol. 2, N 4. P. 205–218.

Nero V., Farwell A., Lister A. et al. Gill and liver histopathological changes in yellow perch (*Perca flavescens*) and goldfish (*Carassius auratus*) exposed to oil sands process-affected water // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2006. Vol. 63. P. 365–377.

Rousseaux C. G., Branchaud A., Spear P. A. Evaluation of liver histopathology and EROD activity in St. Lawrence lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) in comparison with a reference population // Environ. Toxicol. Chem. 1995. Vol. 14. P. 843–849.

Schmidt-Posthaus H., Bernet D., Wahli T., Burkhardt-Holm P. Morphological organ alteration and infectious disease in brown trout *Salmo trutta* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* exposed to polluted river water // Dis. Aquat. Org. 2001. Vol. 44. P. 161–170.

Schrank C. S., Cormier S. M., Blazer V. S. Contaminant exposure, biochemical, and histopathological biomarkers in white suckers from contaminated and reference sites in the Sheboygan River, Wisconsin // *J. Great Lakes Res.* 1997. Vol. 23. P. 119–130.

Temmink J. P., Bowmieister P., Jong P, van der Berg J. An ultra-structural study of chromate-induced hyperplasia in the gill of rainbow trout, *Salmo gairdneri* // *Aqua. Toxicol.* 1983. Vol. 4. P. 165–179.

Thophon S., Kruatrachue M., Upathan E. S. et al. Histopathological alterations of white seabass, *Lateolabrax niloticus* in acute and subchronic cadmium exposure // *Environ. Pollut.* 2003. Vol. 121. P. 307–320.

Trebskorn R., Telcean I., Casper H. et al. Monitoring pollution in River Mureş, Romania, part II: Metal accumulation and histopathology in fish // *Environ. Monit. Assess.* 2008. Vol. 144. P. 177–188.

Van Heernde D., Vosloo A., Nikinmaa M. Effects of short-term copper exposure on gill structure, methallothionein and hypoxia-inducible factor-1a (HIF-1a) levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *Aquat. Toxicol.* 2004. Vol. 69. P. 271–280.

Wolf J. C., Wolfe M. J. A brief overview of nonneoplastic hepatic toxicity in fish // *Toxicol. Pathol.* 2005. Vol. 33. P. 75–85.

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГЕОКОМПЛЕКСЫ ГОРОДА ПЕТРОЗАВОДСКА

И. Ю. Мишкин, С. А. Капитонова

Карельская государственная педагогическая академия

Города являются ареалами наиболее глубокого преобразования природно-территориальных комплексов. По мнению Ж. Б. Соломиной (2007), пространственно-временной анализ территории позволяет выделить этапы формирования ландшафтов города, выявить причинно-следственные связи между преобразованием геокомплексов и изменением их функций. С процессом освоения территории связано образование многочисленных видов антропогенно измененных ландшафтов, исследование которых имеет большое теоретическое и практическое значение.

Целью нашего исследования является анализ антропогенно измененных ландшафтов и пространственно-временная оценка антропогенной нагрузки на территорию г. Петрозаводска.

В системе анализа изменений геокомплексов В. С. Жекулин (1989) обнаружил три тенденции научных изысканий: 1) классификация ландшафтов по характеру техногенного воздействия на природу; 2) взятие в основу систематики степени антропогенного воздействия; 3) показ морфологического соотношения антропогенных и природных комплексов.

Петрозаводск, основанный в 1703 г., расположен в восточной части Онежско-Ладожского водораздела, на берегу Петрозаводской губы Онежского озера – обширного залива, отделенного от основной акватории группой Ивановских островов. Территория города находится в пределах Балтийского (Фенноскандинавского) щита, сложенного кристаллическими породами протерозоя, которые выходят на поверхность в районе Каменного Бора и поселка Соломенное.

Коренные породы покрыты чехлом четвертичных отложений, представленных гляциальными, флювиогляциальными, аллювиальными, озерными и болотными отложениями.

С. Б. Потахин (1996) выделяет три основных этапа изменения окружающей среды г. Петрозаводска:

- этап существования естественных природных комплексов (до начала XVIII в., до 1703 г.);
- этап локальных изменений природных комплексов (до середины XX в.);
- этап коренных преобразований структуры природных комплексов (по настоящее время).

Рельеф города сформирован в результате ледниковой и водно-ледниковой аккумуляции и характеризуется значительной расчлененностью: абсолютные высоты от 33 м (уровень Онежского озера) до 145 м над уровнем моря (Древлянка). Морфологически рельеф представляет собой моренные гряды и холмы определенной экспозиции, разделенные глубокими часто заболоченными понижениями. Склоны крутые, обрывистые, с выходами кристаллических пород. Западные и юго-западные части территории представляют собой пологую холмистую моренную равнину. В южной части города находится кварцито-песчаниковый массив Каменный Бор, имеющий площадь более 1 км², на северо-западе – крупная флювиогляциальная Сулажгорская возвышенность протяженностью более 8 км. Следы прежних уровней Онежского озера сохранились в виде хорошо различимых террас. Петрозаводск и его пригороды расположены на террасах, уступами спускающихся к современному Онежскому озеру. Эти террасы хорошо видны, если смотреть с