

УДК: 619:574.3

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2024.2.190

КСЕНОБИОТИКИ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Аршаница Н.М. – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории
рыбохозяйственной экологии; **Романов А.Ю.** – специалист лаборатории
рыбохозяйственной экологии.

Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского
института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им.Л.С. Берга)

*negan94@yandex.ru

Ключевые слова: Ладожское озеро, южная акватория, ксенобиотики, влияние
на ихтиофауну, воспроизводство, аэрогенный путь, профилактика.

Keywords: Lake Ladoga, southern water area, xenobiotics, impact on ichthyofauna,
reproduction, aerogenic pathway, prevention.

Поступила: 25.04.2024

Принята к публикации: 10.06.2024

Опубликована онлайн: 28.06.2024



РЕФЕРАТ

Успехи прикладной химии привели к появлению новой группы токсикантов органической природы – ксенобиотиков, которые нашли широкое применение в промышленности, сельском хозяйстве и быту, быстро распространились в биосфере, оказывая пролонгированное воздействие на живые организмы, включая человека. Исследования проведены на акваториях Шлиссельбургской, Волховской и Свирской губ литоральной зоны южной части Ладожского озера в период 2020-2023 годов, с использованием общепринятых методов биологического и химико-аналитического анализа рыб и среды их обитания. Исследовано 1500 экз. рыб и 3000 личинок. Химико-аналитические исследования проб воды, донных отложений, атмосферных осадков и рыб на металлы выполнены в лаборатории рыбохозяйственной экологии Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга) на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA – 7000 (Shimadzu) по утвержденным методикам (ПНДФ., 2010; М02-2406., 2013 и М02-902-125, 2005), и в исследовательской лаборатории продуктов питания и объектов природы «АНАЛЭКТ» института Минздрава РФ, методом атомно-абсорбционной спектроскопии по утвержденным методикам. Гидрохимические и гидрологические показатели определялись с помощью автоматического многопараметрического зонда Aqua TROLL 500. Содержание металлов в среде обитания рыб на обследованных экваториях как опасных токсикантов и ранее значимых для Ладожского озера, показало их низкое содержание и особенно таких высоко токсичных как свинец и кадмий. Незначительные превышения были отмечены по меди и марганцу, но они не могли сами по себе быть причиной патологических проявлений токсикоза у рыб и нарушения процесса их естественного воспроизводства.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Появление ксенобиотиков явилось одной из основных причин экологического кризиса в планетарном масштабе. Причем водные ресурсы оказались наиболее уязвимым элементом биосферы. Эволюция биосферы в настоящее время идет скорее по сценарию экосистемы, в которую внедрился инвазивный вид, неограниченный в скорости увеличения своей численности природными факторами. Фактически, эту роль в биосфере выполняет вид *Homo sapiens*, который вышел из-под естественного отбора и неограниченно потребляет ресурсы, уничтожая при этом другие виды и среду их обитания. Последнее хорошо связано с ксенобиотиками, чужеродными для живого организма химическими соединениями, которые в массе оказывают на организм отрицательное воздействие. Эти вещества – продукты прикладной химии. По оценкам EPA (United States Environmental Protection Agency, <http://www.epa.com>) насчитывается более 5 миллионов наименований, используемых в различных отраслях хозяйственной деятельности человека. Так, например, 100 тыс. наименований в оптовой и розничной торговле, более 70 тыс. в промышленных производствах, 3,5 тыс. в фармацевтических препаратах, более 600 при производстве пестицидов и пр. Большая часть синтезированных веществ обладает выраженными токсическими свойствами, являясь ксенобиотиками по отношению к живым организмам [1]. Уже к началу 1990-х годов была осознана опасность ксенобиотиков, особенно СОЗ (стойкие органические соединения) для среды обитания человека и стали приниматься меры профилактики на международном уровне, включая протокол Европейской экономической комиссии ООН по СОЗ «Конвенция по трансграничному загрязнению воздуха на большие расстояния», принятой в 1995 и в 1998 гг., а также «Глобальная программа действий по морской окружающей среде от наземной деятельности» стали первыми документами, направленными на снижение содержания СОЗ [1,2,3]. Конвенция была единогласно

принята межправительственными организациями Европейской комиссии, GEF, WB, ФАО, UNEP и т.д. [4].

Усилия мирового сообщества в последние десятилетия направлены на ужесточение правил по их использованию, перемещению и захоронению наиболее опасных из них, включая устаревшие пестициды, так как ксенобиотики, вовлекаясь в глобальные трансграничные потоки, способны долго циркулировать, отравляя воздух, воду и продукты питания. Распространяясь в окружающей среде аэрогенными путями, далеко за пределами своего первоначального нахождения, их концентрация по мере перемещения по пищевой цепи может возрастать в тысячи раз и способна аккумулироваться в живых организмах [3, 5]. Особенно опасны ксенобиотики оказались для водных организмов, куда они поступают различными путями. Их токсичность для биоты водоемов оказалась очень высокой, особенно это касается пиретроидов, в пределах 0,00001 мг/л и даже выше. Опасность ксенобиотиков связана еще с тем, что количественно их очень много и на многие нет токсикологических характеристик и они распространяются повсеместно, включая районы крайнего Севера. Индикаторный вид полициклических ароматических углеводородов – это бенз(а)пирен (3,4 – БП), который недопустим в воде, но уже успел распространиться по водоемам. Представители этого класса токсикантов распространены в р. Волге и местами в опасных концентрациях [5]. Так концентрации фенантрена достигали – 47, флуорантрена – 310, бенз(а)пирена – 10 ПДК. Аналогичные концентрации отмечены и в донных отложениях реки. В р. Дон обнаружено более 100 наименований ксенобиотиков [6]. Опасность ксенобиотиков состоит в том, что они кроме прямого токсического воздействия и в небольших концентрациях способны накапливаться у человека, животных и рыб, особенно в жировой ткани, и оказывать канцерогенное, мутагенное, эмбриотоксическое действия, изменять гормональную систему, воздействовать на печень и пр. [3, 7].

Об опасности ксенобиотиков для человека можно судить по такому примеру, как увеличение раковых заболеваний у рабочих заводов по производству ксенобиотиков и выраженный подъем раковых заболеваний у детей и внуков американцев, ветеранов Вьетнамской войны, получивших высокие дозы дефолиантов [8].

Опасность представляют хлорорганические пестициды (ХОП). Это довольно большая группа веществ, которые обнаруживаются по всем местам, особенно в районах с интенсивным сельским хозяйством, и, как правило, они различными путями поступают в воду вызывая случай массовой гибели рыб. Накапливаясь в рыбах при невысоком уровне содержания в воде, могут вызывать различные негативные последствия, особенно в период раннего онтогенеза.

Опасность представляет и такая группа ксенобиотиков, как полихлорированные бифенилы (ПХБ), диоксины (ПХДД) и фураны (ПХДФ). Концентрация коэффициента токсического эквивалента позволила рассчитать токсичность смеси ПХДД/ПХДФ и ввести нормативы – ПДК для питьевой воды – 20 нг/л, атмосферного воздуха – 0,5 нг/м³ (ГН.2.16.014.94). Уровни содержания диоксинов, установленны приказом МЗН142-91105 от 05.05.1991 для следующих пищевых групп и продуктов таковы: молоко и молочные продукты 5,2 нг/кг, рыба и рыбопродукты 11,0 нг/кг, мясопродукты 0,9 нг/кг. ПДК для воды питьевого назначения 0,001 мг/л, наличие ПХБ в воде рыбохозяйственного значения не допускается. Нормативы содержания диоксинов в других странах таковы: вода питьевая (в нг/л), Канада-0,01; США-0,013; Италия-0,05. Наименее опасную группу ксенобиотиков представляют синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) – 3 и 4 класс опасности. В водоемы СПАВ поступают в значительных количествах с хозяйственно-бытовыми (синтетические моющие вещества), промышленными стоками и с сельскохозяйственной.

В Северо-Западном регионе России ксенобиотики также получили распро-

странение, что показано на примере Ладожского озера. В озеро они поступают различными путями, что показали исследования на примере наличия важного и основного представителя полициклических углеводородов - индикатора – 3,4-бензпирена (3,4 БП) [9]. Он обладает высокой биохимической стабильностью и практически всегда обнаруживается. В донных отложениях концентрация достигала 1 мкг/кг, а в устье реки Свирь – 2,2 мкг/кг [10].

Ранее проведенные исследования показали, что на этих акваториях концентрации высокомолекулярных соединений, в частности полихлорированных бифенилов, значительно превышали ПДК [11]. По данным автора, загрязнения ксенобиотиками и металлами наблюдалось на больших акваториях озера, но особенно в предустьевых участках рек. Исследование донных отложений также показало их загрязнение ксенобиотиками, в частности, полициклическими ароматическими углеводородами [9], обладающими высокой биохимической активностью.

По литературным данным в Северо-Западном регионе ориентировочная нагрузка такого опасного ксенобиотика как 3,4 БП на Ладожское озеро составляет 460 кг в год, однако эта величина должна быть выше, поскольку в этом случае не учитывается трансграничный перенос из Восточной Европы и Прибалтики, где модуль технической нагрузки для 3,4 БП значительно (в 3-50 раз) больше [12], и особенно это опасно для мелководной прибрежной зоны, что показано на примере Волховской губы, где содержание этого токсиканта в донных отложениях доходило до 126 мкг/кг [10].

Интенсивное развитие промышленности и сельского хозяйства в Северо-Западном регионе страны, особенно в бассейне водосбора Ладожского озера, в семидесятых и восьмидесятых годах прошлого столетия, особенно пагубно сказалось на экологическом состоянии Ладожского озера, что четко отразилось на его биоте в результате антропогенного эвтрофирования и повышения уровня загрязне-

ния токсикантами органической природы и металлами. В девяностых годах последовали известные социально-экономические события, что положительно сказалось на экологическом состоянии озера, за исключением южной мелководной части, где положительные тенденции были существенно ниже, особенно по такому критерию, как состояние ихтиофауны.

Состояние по гидробиологическим показателям и значительно по ихтиофауне было связано с наличием в воде и донных отложениях металлов, однако их содержание в среде обитания биоты постепенно стало снижаться и к началу 20-х годов нового тысячелетия нормализовалось, что показали наши исследования, которые косвенно дали возможность оценить влияние на ихтиофауну ксенобиотиков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проведены на акваториях Шлиссельбургской, Волховской и Свирской губ литоральной зоны южной части Ладожского озера в период 2020-2023 годов, с использованием общепринятых методов биологического и химико-аналитического анализа рыб и среды их обитания. Исследовано 1500 экз. рыб и 3000 личинок.

Биотестирование проб воды, донных отложений и атмосферных осадков проводили по общепринятым методикам в остром и хроническом экспериментах (ФР.1.39.2007.03.222).

Химико-аналитические исследования проб воды, донных отложений, атмосферных осадков и рыб на металлы выполнены в лаборатории рыбохозяйственной экологии Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга») на атомно-абсорбционном спектрофотометре АА – 7000 (Shimadzu) по утвержденным методикам (ПНДФ., 2010; М02-2406., 2013 и М02-902-125, 2005), и в исследовательской лаборатории продуктов питания и объектов природы «АНАЛЭКТ» института Минздрава РФ, методом атомно-

абсорбционной спектрометрии по утвержденным методикам. Гидрохимические и гидрологические показатели определялись с помощью автоматического многопараметрического зонда Aqua TROLL 500.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты исследования физических и гидрохимических показателей среды обитания рыб, таких как электропроводность, минерализация, окислительно-восстановительный потенциал и пр., а главное - содержание растворённого в воде кислорода и концентрация водородных ионов – рН, оказались в норме. Кислород является важнейшим абиотическим фактором водной среды, без которого невозможен нормальный ход биохимических процессов и жизнедеятельности на всех этапах индивидуального развития рыб – от икринки и личинок до половозрелых особей. Потребность рыб в кислороде, даже самых чувствительных к нему (лосося и сига), колеблется от 7 до 11 мг/л. Наши исследования показали, что его содержание было на всех станциях не ниже 9,2 мг/л – в пределах оптимальной нормы.

Что касается показателей рН, то его величина является важнейшим экологическим фактором, оказывающим неспецифическое влияние как на степень токсичности различных загрязняющих веществ, так и на уровень токсикорезистентности рыб. Принято считать нормой колебания рН в воде рыбохозяйственных водоемов в пределах от 6,5 до 8,5. На всех обследованных нами станциях этот показатель был в пределах нормы, не ниже 7,5 и не выше 8,4. Другие показатели проведенного анализа характеризовали воду обследованных акваторий как низкоминерализованную и пригодную для обитания чувствительных видов рыб [13].

Содержание металлов в среде обитания рыб на обследованных экваториях как опасных токсикантов и ранее значимых для Ладожского озера [11;14;15], показало их низкое содержание и особенно таких высоко токсичных как свинец и кадмий. Незначительные превышения

были отмечены по меди и марганцу, но они не могли сами по себе быть причиной патологических проявлений токсикоза у рыб и нарушения процесса их естественного воспроизводства [16]. Несмотря на низкий уровень содержания металлов, и благополучие гидрохимического режима, исследование рыб показало их массовое поражение токсикозом, хотя и менее выраженное, чем прежде. В то же время исследование личинок показало их массовое поражение токсикозом с выраженностью патологического процесса и наличием значительного количества погибших особей. Среди пораженных токсикозом личинок значительная доля особей (до 30 %) имела тяжелые необратимые повреждения имеющие однотипный характер на всех акваториях и связанные с нарушением остеогенеза, что проявилось в черепно-лицевых дефектах, аномалиях позвоночника, дефектах глаз, плавников и пр. Аналогичные повреждения были отмечены и другими исследователями. Причиной указанных патологий, по их мнению, явилось воздействие ксенобиотиков [7; 17], а также совместное действие ксенобиотиков и металлов [18]. Массовое поражение личинок, как и рыб, на акватории трех губ указывало на значительный уровень загрязнения, что подтверждали и результаты биотестирования проб воды и элютриатов донных отложений [19], что не могло быть связано только с металлами.

По данным специалистов ВНИИ Геохимии Мирового океана, загрязнение хлорорганическими соединениями и другими пестицидами донных отложений Ладожского озера достигло высокого уровня и особенно проявляется в южных мелководных акваториях [20]. Проанализировав специальную литературу по загрязнению водоёмов, включая Ладожское озеро, что отражено в введении, пришли к заключению, что современный уровень загрязнения, уязвимой к токсическому воздействию литоральной зоны южной части Ладожского озера, связан с наличием ксенобиотиков и их совокупное воздействие с металлами является основной причиной

поражения рыб токсикозом и нарушением процесса их естественного воспроизводства. Если гидробиологические сообщества находятся в относительном благополучии, то состояние ихтиофауны показывает неблагополучие экологического состояния, что до сих пор четко проявляется на структуре ихтиоценоза озера, прослеживающийся по запасам и уловам промысловых видов рыб.

ВЫВОДЫ/ CONCLUSION

Проведённые исследования на акватории южной части Ладожского озера показали, что и в настоящее время здесь прослеживается неблагоприятный для ихтиофауны токсикологический режим, связанный с поражением ихтиофауны токсикозом и нарушением воспроизводства, несмотря на снижение в воде и донных отложениях металлов - основных токсикантов прошлых десятилетий. Анализ результатов проведённых исследований, результаты биотестирования, характерные проявления токсикоза у личинок, дают основания полагать, что значимыми, если не основными токсикантами литоральной зоны южной части озера являются ксенобиотики, которые ранее постоянно регистрировались в воде и донных отложениях. Необходимы исследования по выявлению их в воде, донных отложениях и атмосферных осадках.

XENOBIOTICS AND POLLUTION OF LAKE LADOGA

Arshanitsa N.M. – Senior Researcher at the Laboratory of Fisheries Ecology, Candidate of Biological Sciences; **Romanov A.Yu.** – specialist of the Laboratory of Fisheries Ecology

St. Petersburg branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography. (GosNIORH named after L.S. Berg)

*negan94@yandex.ru

ABSTRACT

Advances in applied chemistry have led to the emergence of a new group of organic

toxicants - xenobiotics, which have found wide application in industry, agriculture and everyday life, and quickly spread through the biosphere, exerting a prolonged effect on living organisms, including humans. Research was carried out in the waters of the Shlisselburg, Volkhov and Svirskaya lips of the littoral zone of the southern part of Lake Ladoga in the period 2020-2023, using generally accepted methods of biological and chemical analytical analysis of fish and their habitat. 1500 specimens were examined. fish and 3000 larvae. Chemical-analytical studies of samples of water, bottom sediments, atmospheric precipitation and fish for metals were carried out in the laboratory of fishery ecology of the St. Petersburg branch of the Federal State Budgetary Institution "VNIRO" ("GosNIORH" named after L.S. Berg) on an atomic absorption spectrophotometer AA - 7000 (Shimadzu) according to approved methods (PNDF., 2010; M02-2406., 2013 and M02-902-125, 2005), and in the research laboratory of food and natural objects "ANALECT" of the Institute of the Ministry of Health of the Russian Federation, using the method of atomic absorption spectrometry according to approved methods. Hydrochemical and hydrological indicators were determined using an automatic multiparameter probe Aqua TROLL 500. The content of metals in the fish habitat at the surveyed equators, as dangerous toxicants and previously significant for Lake Ladoga, showed their low content and especially such highly toxic ones as lead and cadmium. Minor excesses were noted for copper and manganese, but they could not in themselves be the cause of pathological manifestations of toxicosis in fish and disruption of the process of their natural reproduction.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1.Моисеенко, Т.И. Водная экотоксикология, теоретические и практические аспекты / Т.И. Моисеенко. – Москва. Наука. – 2009. – 399 с.
- 2.Ливанов Г.А., Худoley В.В. Программа снижения диоксиновой опасности в крупных городах на примере Санкт-Петербурга // Сокращение выбросов стойких органических загрязнителей (СОЗ), в частности, диоксинами и фуранами. М.: ЦМП, 2000. С. 245-248.
- 3.Blust L.I. Organochlorine pesticides // Handbook of Ecotoxicology / Ed. D.J. Hoffman et al. N. Y.: Lewis Publ., 2005. P. 314-329.
- 4.Khudoley V.V. Stockholm convention, and National Plan of Action Against Persistent Organic Pollutants (POPs) // The International Ecological Forum. St. Petersburg, 2002. P. 89-91.
- 5.Павлов Д.Ф. Некоторые проблемы загрязнения водоемов России органическими загрязняющими веществами – хлорорганическими пестицидами и полициклическими ароматическими углеводородами // Физиология и токсикология пресноводных животных / Сб. науч. тр. НИИ биол. внутр. вод РАН. Рыбинск: Рыбинский дом печати, 2007. С. 178-205.
- 6.Юфит С. С. Яды вокруг нас: Вызов человечеству / С. С. Юфит. - Москва: Классик стиль, 2002 (ГУП Саратов. полигр. комб.). - 366 с.
- 7.Брагинский Л.П., Эколого-токсикологическая ситуация в водной среде (основные принципы оценки и прогнозирования) / Л.П. Брагинский, Ф.Я. Комаровский, Э.П. Щербань и др.// Гидробиол. журн. - 1989. - Т. 25, № 6. С. 91-101.
- 8.Башкин В. Н. Биогеохимия / В. Н. Башкин, Н. С. Касимов; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Ин-т экологии города, Ин-т фундамент. проблем биологии РАН. - Москва: Науч. мир, 2004 - 647 с.
- 9.Ильницкий А.П., Канцерогенные вещества в водной среде / А.П. Ильницкий, А.А. Королев, В.В. Худoley // М. - 1993. - 222 с.
- 10.Ровинский Ф. Я., Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов / Ф. Я. Ровинский, Т. А. Теплицкая, Т. А. Алексеева// -Л. - : Гидрометеиздат, 1988 – С. 207-222.
- 11.Кудерский Л.А. Избранные труды. – СПб. –Москва. – 2013. – Т. 3. – С. 326
- 12.Глазовский Н. Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере // Добыча полезных

ископаемых и геохимия природных экосистем. М., - 1982. - С. 7-28.

13. Лукьяненко В.И. Экологические аспекты ихтиотоксикологии / В.И. Лукьяненко // Агропроимиздат. - Москва. - 1987. - 240 с.

14. Семенов В.В. Химическое загрязнение поверхностных водоемов России / В. В. Семенов, М. А. Перевозников, С. Г. Ивахнюк // - СПб: Нестор-История, 2014. - 254 С.

15. Гребцов, М.Р. Содержание металлов в рыбах Волховской губы Ладожского озера / М.Р. Гребцов // Материалы III Международного конгресса ветеринарных фармакологов и токсикологов. - СПб. - 2014. - С. 72-74.

16. Романов А.Ю. Эколого-ихтиотоксикологическое состояние южной акватории Ладожского озера / А.Ю. Романов, Н.М. Аршаница // Международный вестник ветеринарии. - СПб. - 2023. - № 2. - С. 171-178.

17. Lawrence A.J. Moor et al. Molecular / cellular processes and the Physiological response to pollution // Effects of Pollution on Fish/ Ed. Al Lawrence, K.G. Hemingway, NY: Blackwel Sci, 2003. P. 83-133.

18. Wood C.M., McDonald D.G. The physiology of acid/aluminum stress in trout // Ann. Soc. roy. 2001. Belg. 1987. Vol. 117, N 1. P. 399-410.

19. Романов А.Ю. Влияние загрязняющего фактора на ихтиофауну Ладожского озера и меры профилактики / А.Ю. Романов, Н.М. Аршаница // Международный вестник ветеринарии. - СПб. - 2024. - №1. С. 192-202.

20. Гуревич В.И. Геоэкология Ладожского озера: [Монография] / В.И. Гуревич, И.В. Куликов, Т.Ю. Михалюк // Всесоюз. науч.-исслед. ин-т геологии и минер. ресурсов Мирового океана (ВНИИОкеанология). - СПб.: ВНИИОкеанология, 1995. - 209 с.

REFERENCES

1. Moiseenko, T.I. Aquatic ecotoxicology, theoretical and practical aspects / T.I. Moiseenko. - Moscow. The science. - 2009. - 399 p.

2. Livanov G.A., Khudoley V.V. Program for reducing the dioxin hazard in large cities using the example of St. Petersburg // Reducing emissions of persistent organic pollutants (POPs), in particular dioxins and furans. M.: TsMP, 2000. pp. 245-248.

3. Blust L.I. Organochlorine pesticides // Handbook of Ecotoxicology / Ed. D.J. Hoffman et al. N.Y.: Lewis Publ., 2005. P. 314-329.

4. Khudoley V.V. Stockholm convention, and National Plan of Action Against Persistent Organic Pollutants (POPs) // The International Ecological Forum. St. Petersburg, 2002. P. 89-91.

5. Pavlov D.F. Some problems of pollution of Russian water bodies with organic pollutants - organochlorine pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons // Physiology and toxicology of freshwater animals / Sat. scientific tr. Research Institute of Biol. internal waters of the Russian Academy of Sciences. Rybinsk: Rybinsk Printing House, 2007. pp. 178-205.

6. Yufit S. S. Poisons around us: A challenge to humanity / S. S. Yufit. - Moscow: Classics style, 2002 (State Unitary Enterprise Saratov polygraphic comb.). - 366 s.

7. Braginsky L.P., Ecological and toxicological situation in the aquatic environment (basic principles of assessment and forecasting) / L.P. Braginsky, F.Ya. Komarovskiy, E.P. Shcherban et al. // Gidrobiol. magazine - 1989. - T. 25, No. 6. P. 91-101.

8. Bashkin V. N. Biogeochemistry / V. N. Bashkin, N. S. Kasimov; Moscow state University named after M. V. Lomonosova, Institute of Urban Ecology, Institute of Fundamentals. problems of biology RAS. - Moscow: Scientific. world, 2004 - 647 p.

9. Ilnitsky A.P., Carcinogenic substances in the aquatic environment / A.P. Ilnitsky, A.A. Korolev, V.V. Khudoley // M. - 1993. - 222

10. Rovinsky F. Ya., Background monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons / F. Ya. Rovinsky, T. A. Teplitskaya, T. A. Alekseeva // -L. -: Gidrometeoizdat, 1988 - pp. 207-222.

11. Kudersky L.A. Selected works. - St. Petersburg. -Moscow. - 2013. - T. 3. - P. 326

12. Glazovsky N. F. Technogenic flows of matter in the biosphere // Mining and geochemistry of natural ecosystems. M., - 1982. - P. 7-28.
13. Lukyanenko V.I. Ecological aspects of ichthyotoxicology / V.I. Lukyanenko // Agropromizdat. - Moscow. - 1987. - 240 p.
14. Semenov V.V. Chemical pollution of surface water bodies in Russia / V.V. Semenov, M.A. Perevoznikov, S.G. Ivakhnyuk // - St. Petersburg: Nestor-Istoria, 2014. - 254 P.
15. Grebtsov, M.R. Content of metals in fish of the Volkhov Bay of Lake Ladoga / M.R. Grebtsov // Materials of the III International Congress of Veterinary Pharmacologists and Toxicologists. - St. Petersburg. - 2014. - P. 72-74.
16. Romanov A.Yu. Ecological and ichthyotoxicological state of the southern waters of Lake Ladoga / A.Yu. Romanov, N.M. Arshanitsa// International Bulletin of Veterinary Medicine. - St. Petersburg. - 2023. - No. 2. - P. 171-178.
17. Lawrence A.J. Moore et al. Molecular / cellular processes and the Physiological response to pollution // Effects of Pollution on Fish / Ed. Al Lawrence, K.G. Hemingway, NY: Blackwel Sci, 2003, pp. 83-133.
18. Wood C.M., McDonald D.G. The physiology of acid/aluminum stress in trout // Ann. Soc. roy. 2001. Belg. 1987. Vol. 117, N 1. P. 399-410.
19. Romanov A.Yu. The influence of the polluting factor on the ichthyofauna of Lake Ladoga and preventive measures / A.Yu. Romanov, N.M. Arshanitsa // International Bulletin of Veterinary Medicine. - St. Petersburg. - 2024. -№1. pp. 192-202.
20. Gurevich V.I. Geoecology of Lake Ladoga: [Monograph] / V.I. Gurevich, I.V. Kulikov, T.Yu. Mikhalyuk // All-Union. scientific research Institute of Geology and Miner. resources of the World Ocean (VNIIOkeanologiya). - St. Petersburg: VNIIOkeanologiya, 1995. - 209 p.