

МИНИСТЕРСТВО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МОРСКОГО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ
(ВНИРО)

На правах рукописи

2 3 1
АББАС САИД АБУ ЭЛЬ ЭЗЗ

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА И ВИДОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ТОКСИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ ОСЕТРОВЫХ РЫБ
НА РАННЕМ ЭТАПЕ ОНТОГЕНЕЗА

Специальность 03.00.10 – Ихтиология

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

*диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук*

Москва 1981 .

Работа выполнена в Астраханском техническом институте
рыбной промышленности и хозяйства МРХ СССР.

Научный руководитель: доктор биологических наук,
профессор В.И.ЛУКЬМЕНКО

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
старший научный сотрудник С.А.ПАТКИ,
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
С.И.НИКОПОРОВ

Ведущее предприятие - Институт физиологии им.А.И.Караева
Академии наук Азербайджанской ССР

Защита состоится " " 1981 года в " " часов
на заседании специализированного совета Д 117.01.01 при
Всесоюзном научно-исследовательском институте морского рыбного
хозяйства и океанографии (ВНИРО), 107140, г.Москва, Верхняя
Красносельская, 17-а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВНИРО.

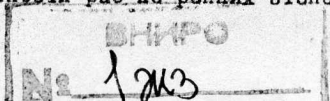
Автореферат разослан " " 1981 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
к.з.н.

В.П.Серебряков

В В Е Д Е Н И Е

Актуальность темы. Нарастающее антропогенное воздействие на природу привело к значительной активизации исследований по экологии водных и наземных животных. Сказанное в первую очередь относится к экологии рыб, условия обитания которых как во внутренних водоемах, так и в Мировом океане заметно ухудшились в связи с повсеместным увеличением загрязнения вод промышленными стоками, которые содержат сотни различных веществ. Многие из них относятся к группе высокотоксичных для разных по уровню организации гидробионтов, в том числе и для рыб. Среди этих веществ одно из первых мест по праву занимают соли тяжелых металлов, которые по широте распространения, уровню токсичности, устойчивости в водной среде и объемам поступления в водоемы занимают одно из первых мест. Токсичность большинства металлов для рыб чрезвычайно велика и определяется многими переменными, такими как концентрация вещества, время его действия, а также возрастными и видовыми особенностями устойчивости рыб к ядам. Следует подчеркнуть, что изучение видовых различий устойчивости рыб ведется в основном на взрослых рыбах. Между тем, знание видовых особенностей токсикорезистентности рыб на ранних этапах онтогенеза представляет интерес по двум причинам: во-первых, для понимания путей воздействия токсикантов на ихтиофауну данного водоема в целом и на отдельные популяции экономически ценных видов рыб, во-вторых для правильного выбора тест-объектов при разработке предельно допустимых концентраций того или иного вещества. При этом очень важно выбрать не только наименее устойчивый вид, но и наиболее "уязвимую" стадию онтогенеза. В современной ихтиотоксикологии нет единого мнения относительно уровня токсикорезистентности рыб на ранних этапах онтогенеза. В значи-



тельной мере это определяется тем, что во многих случаях авторы проводили опыты используя какую-либо одну "точку" эмбрионального, личиночного или малькового периодов развития и лишь изредка встречаются исследования, посвященные динамике токсикорезистентности рыб на ранних этапах онтогенеза.

Цель работы. Изучить динамику токсикорезистентности трех видов осетровых рыб: белуги, русского осетра и севрюги, а также провести сравнительное изучение их видовых особенностей токсикорезистентности в личиночный и мальковый периоды развития по отношению к двум тяжелым металлам: высокотоксичному кадмию и менее токсичному кобальту, который нашел широкое применение в качестве микродобавки в корм для различных объектов прудового рыбоводства.

Научная новизна работы. Впервые изучена возрастная динамика устойчивости осетровых рыб на ранних этапах индивидуального развития к солям тяжелых металлов различной токсичности. Обнаружены сложные возрастные изменения токсикорезистентности внутри каждого из двух исследованных периодов индивидуального развития — личиночного и малькового. Выявлено наличие видовых особенностей устойчивости осетровых рыб в раннем онтогенезе. Проведена сравнительная характеристика устойчивости одновозрастной, но разновесовой молодежи русского осетра и севрюги к кобальту, кадмию и фенолу. Исследованы некоторые физиолого-биохимические показатели: концентрация гемоглобина и число эритроцитов крови и показана связь этих показателей с функциональным состоянием организма молодежи в токсических растворах исследуемых металлов. Исследовано комбинированное действие кадмия и кобальта. Разработан новый математический метод определения и расчета динамики развития и исхода токсического эффекта различных концентраций вещества.

Практическое значение. Результаты проведенного исследования

старят перед необходимостью пересмотра принятой величины предельно допустимой концентрации кадмия с целью ее снижения до уровня природных концентраций в естественных водоемах. Это позволит обеспечить выживание ценнейших в экономическом отношении осетровых рыб на самых уязвимых этапах раннего онтогенеза. Кроме того, полученные данные, характеризующие динамику изменения уровня токсикорезистентности в личиночном и мальковом периодах развития представляют первостепенный интерес в методическом плане, при постановке ихтиотоксикологических исследований для экспериментального обоснования предельно допустимых концентраций тяжелых металлов. Наконец, и это очень важно, выявленные возрастные особенности динамики токсикорезистентности различных видов осетровых в раннем онтогенезе могут служить дополнительным аргументом при экспериментальном обосновании возрастно-весового стандарта заводской молодежи осетровых, определяющего своевременность выпуска этой молодежи в естественный водоем. Предложенный нами новый математический метод определения критерия токсического эффекта различных концентраций веществ может быть использован для сравнительной оценки полученных результатов, в качестве индикатора диагностики отравления рыб промышленными сточными водами и определения пороговых и предельно допустимых концентраций токсического агента.

Апробация. Результаты работы докладывались на производственных совещаниях лаборатории физиологии и биохимии осетровых рыб Центрального научно-исследовательского института осетрового хозяйства МРХ СССР (1977, 1978), на IV Всесоюзной конференции по экологической физиологии и биохимии (1979), на Ученом Совете рыбохозяйственного факультета Астраханского технического института рыбной промышленности и хозяйства (1980).

Публикация. По теме диссертации опубликованы две работы.

Объем. Работа состоит из введения, шести глав, выводов, приложения и списка литературы. Диссертация изложена на 137 страницах машинописного текста. Работа содержит 28 таблиц, 11 рисунков, 73 страницы приложения и 12 страниц - список литературы, включающий в себя 146 работ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена на личинках и мальках белуги (*Huso huso*), русского осетра (*ACIPENSER BÜLDENSTADTI*) и севрюги (*ACIPENSER STELLATUS*), выращенных на экспериментальной базе ЦНИОРХ - Икрянинском осетровом рыбоводном заводе, в течение трех рыбоводных сезонов (1976, 1977 и 1978 г.г.). В опытах были использованы 1, 5, 10, 20, 30-дневные личинки и 60, 90 и 120-дневные мальки каждого из трех видов осетровых рыб. Для оценки видовых особенностей дополнительно были исследованы 35 и 40-дневные мальки белуги и русского осетра. Уровень токсикорезистентности личинок и мальков русского осетра и севрюги оценивали в 48-часовых опытах, личинок белуги - в 24-часовых, а мальков белуги - в 48 часовых опытах. Показателями устойчивости личинок и мальков испытываемых видов рыб служили время и процент гибели рыб, а также величина летальной концентрации токсических веществ.

В качестве токсикантов были избраны хлористые соли кадмия ($\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$) и кобальта ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). В опытах с личинками русского осетра и севрюги, мальками белуги, русского осетра и севрюги использованы следующие концентрации: хлористого кадмия - 0,5; 1, 2, 4, 8 мг/л; хлористого кобальта - 4, 8, 16, 32, 64 мг/л. В опытах с личинками белуги 0,01; 0,1; 0,5 и 1 мг/л хлористого кадмия и 0,1; 1,5 и 10 мг/л хлористого кобальта. Для приготовления токсических растворов тяжелых металлов пригото-

вали стандартный раствор при расчете количества кристаллогидратов, соединяющихся с катионами металлов и анионами хлора.

Опыты ставили следующим образом. Подопытных и контрольных личинок и мальков исследуемых видов рыб выдерживали в круглых бассейнах ВНИРО (одну партию одного цикла выклева), а затем помещали в 50-литровые аквариумы по 22-30 особей в каждый с заданной концентрацией токсиканта. Токсические растворы и чистая вода в контрольных аквариумах постоянно аэрировались с помощью компрессоров. Смена токсических растворов осуществлялась каждые 8 часов. Перед началом опыта и в конце его определяли содержание в воде кислорода, величину pH и температуру воды. Наблюдения вели круглосуточно. Смерть подопытных рыб регистрировали по прекращению движения оперкулярных крышек. Погибших личинок и мальков взвешивали и измеряли длину. Опыты с каждой концентрацией токсиканта проводили дважды. В общей сложности в этих опытах использовано 13710 личинок и мальков осетровых рыб, в том числе белуги - 3808 особей, русского осетра - 5194 особей, севрюги - 4708 особей.

Специальная серия опытов поставлена для выявления зависимости устойчивости осетровых рыб к исследованным токсикантам от массы у разных весовых групп одного возраста. Опыты проводили на мальках русского осетра (2136 особи) и севрюги (562 особи). Использовано по три тестирующие концентрации хлористого кадмия (0,5; 4 и 8 мг/л) и хлористого кобальта (16, 64, 96 мг/л) и две концентрации фенола (80 и 100 мг/л).

Мы поставили специальные серии ориентировочных опытов на молоди белуги в возрасте 35-днев при токсическом действии концентраций хлористого кадмия 0,01; 0,1; 0,5 и 1 мг/л и 60-днев - 0,25; 0,5; 1, 2 и 4 мг/л и концентраций хлористого кобальта в возрасте 35-днев - 0,1; 1, 5 и 10 мг/л. Сравнивали результаты

полученные при экспозиции опытов 24 часа с последующим продолжением опытов до 43 часов. В общей сложности было использовано 700 особей. Для оценки физиологического состояния молодежи, выжившей в различных концентрациях токсикантов определяли концентрацию гемоглобина на эритрогемометре модели 065 и число эритроцитов на пикоскале (1600 особей).

Комбинированное действие хлористого кадмия и кобальта определяли на молодежи белуги (600 особей), русского осетра (130 особей) и севрюги (320 особей).

В общей сложности в различных сериях опытов настоящего исследования использовано около 20000 разновозрастных личинок и молодежи трех видов осетровых рыб. Результаты всех серий опытов обрабатывали статистически на ЭВМ "Наири". При этом определяли среднюю арифметическую вариационного ряда, среднее квадратичное отклонение, стандартную ошибку, коэффициент вариации и достоверность различий. Характер связи между основными токсикологическими параметрами "концентрация-время выживания" и "время выживания-процент гибели" определяли по корреляционным уравнениям.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА И ВИДОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТОКСИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ ОСЕТРОВЫХ РЫБ НА РАННЕМ ЭТАПЕ ОНТОГЕНЕЗА

Б е л у г а. Наиболее высокая устойчивость (100% выживание) к обоим токсикантам отмечена у однодневных и пятидневных личинок. Судя по величине процента гибели 10-дневных личинок (36,4-59,1) токсичность хлористого кадмия (0,01 мг/л) примерно в 10 раз выше в сравнении с токсичностью хлористого кобальта (0,1 мг/л). Эти различия сохраняются и для 20-дневных личинок, а

также для 35-дневных мальков, причем устойчивость 35-дневных мальков белуги к хлористому кобальту заметно выше в сравнении с 10- и 20-дневными личинками при высоких концентрациях (5 и 10 мг/л), но несколько ниже в сравнении с 20-дневными личинками при низких концентрациях (0,1 и 1,0 мг/л). Что касается сравнительной устойчивости личинок и мальков белуги к хлористому кадмию, то она, если судить по величине процента гибели подопытных рыб, примерно одинакова. Иная картина вырисовывается при сравнении токсикорезистентности по среднему времени выживания подопытных рыб, которое, на наш взгляд более тонко отражает уровень устойчивости организма к тому или иному токсиканту.

Время выживания 20-дневной личинки и 35-дневного малька в растворе хлористого кадмия 0,01 мг/л примерно одинаково (23,2 и 21,9 часа, соответственно) и почти в два раза выше в сравнении со временем выживания 10-дневной личинки белуги (12,9 часа), которая оказалась наименее устойчивой. Среднее время выживания личинок и мальков белуги в растворе хлористого кадмия 1 мг/л оказалось равным для 10-дневных личинок 14,2 часа, для 20-дневных личинок - 18,8 часа и для 35-дневных мальков - 21,2 часа. Следовательно, увеличение концентрации хлористого кадмия в 100 раз (с 0,01 до 1 мг/л) практически не отразилось на уровне токсикорезистентности белуги в раннем онтогенезе и среднее время выживания не претерпело существенных изменений ни у одной из исследованных возрастных групп. Точно также не изменился и средний процент гибели личинок (42-50) и мальков (32). В настоящее время трудно найти однозначное объяснение этому факту. Мы склонны думать, что чрезвычайно низкий уровень устойчивости белуги на самых ранних этапах онтогенеза отражает несформированность компенсаторных механизмов, вследствие чего организм становится уязви-

мы даже к столь низким концентрациям токсиканта.

Аналогичная ситуация наблюдалась нами и при изучении уровня токсикорезистентности личинок и мальков белуги к хлористому кобальту. И в этих опытах изменение концентрации хлористого кобальта в 100 раз (с 0,1 до 10 мг/л) практически не изменило процент гибели 10-дневных личинок (32-50), процент гибели 20-дневных личинок увеличился лишь с 7,1 до 22,7, процент гибели 35-дневных мальков при концентрации 0,1 и 1 мг/л составил 13,6, а при концентрации 5 и 10 мг/л даже несколько снизился. Сходные данные получены и при оценке уровня токсикорезистентности к хлористому кобальту по времени выживания личинок и мальков белуги. Опуская детали сравнительного анализа отметим лишь, что среднее время выживания личинок в растворе хлористого кобальта 0,1 мг/л составило 17,2 часа, 1 мг/л - 13,7 часа, 5 мг/л - 20 часов и 10 мг/л - 16,7 часа, т.е. практически не изменилось. Точно также и время выживания 20-дневных личинок оказалось примерно равным при концентрации 0,1 мг/л (22,9 часа) и при концентрации 10 мг/л (20,6 часа). Эта же закономерность отмечена и в опытах с 35-дневными мальками: время выживания в растворе хлористого кобальта 0,1 мг/л - 23,2 часа, в растворе 10 мг/л - 23,4 часа.

Учитывая все эти данные мы решили при изучении уровня токсикорезистентности мальков различного возраста использовать другой диапазон концентраций, а именно, для хлористого кадмия - 0,5; 1, 2, 4 и 8 мг/л, для хлористого кобальта - 4, 8, 16, 32 и 64 мг/л с увеличением продолжительности опытов с 24 до 48 часов. Для определения направленности возрастных изменений токсикорезистентности в мальковый период мы исследовали 30, 60, 90 и 120-дневных белугат. Минимальный уровень токсикорезистентности отмечен у 30-дневных белугат, а максимальный - у 120-дневных. В токсических растворах хлористого кадмия от 0,5 до 8 мг/л процент ги-

белуги 30-дневных рыб составил 90-100, а гибели 120-дневных в этих же растворах в течение 48 часов не отмечено.

Анализируя результаты проведенных опытов по токсикорезистентности мальков белуги ко всем концентрациям хлористого кобальта отметим, прежде всего, значительно более высокий уровень устойчивости мальков в сравнении с личинками. Это нашло свое отражение не только по среднему времени выживания и проценту гибели, но и в пороговых летальных концентрациях хлористого кобальта. Если для 30-дневных личинок белуги пороговая летальная концентрация 4 мг/л, то для 35-дневных мальков такая концентрация оказалась равной 10 мг/л, а для 60 и 90-дневных мальков 64 мг/л.

Таким образом, уровень токсикорезистентности личинок белуги заметно ниже в сравнении с мальками, однако самой уязвимой стадией развития с токсикологических позиций следует считать переходные периоды развития: начальные этапы собственно личиночного периода развития (вскорма после перехода на этап самостоятельного питания) и начальные этапы малькового периода развития.

Русский осетр. Прежде всего отметим значительно более высокий уровень токсикорезистентности личинок русского осетра к обоим токсикантам в сравнении с личинками белуги. Это нашло свое отражение в пороговых летальных концентрациях кадмия и кобальта. Если для 10-дневных личинок белуги пороговой летальной концентрацией, вызывающей гибель более 50% особей была 0,01 мг/л, то для одновозрастных личинок русского осетра - 0,5 мг/л. Точно также изменилась и величина пороговой летальной концентрации хлористого кадмия: для 10-дневных личинок русского осетра - 8 мг/л против 0,1 мг/л для 10-дневных личинок белуги.

Подобно личинкам белуги однодневные личинки русского осетра оказались значительно более устойчивыми в сравнении с другими

4-мя возрастными группами (5, 10, 20 и 30-дневными) и в течение 43 часов наблюдений нам не удалось отметить гибели однодневных личинок в растворах хлористого кадмия 0,5; 1 и 2 мг/л. Только при 4 мг/л время выживания незначительно сократилось (до 43,6 часа), а при 8 мг/л снизилось в два раза (24 часа). Иными словами, с увеличением возраста личинок токсикорезистентность постепенно падает и достигает самого низкого уровня у 30-дневных особей. Среднее время выживания 30-дневных личинок русского осетра оказалось самым низким в сравнении с другими возрастными группами личинок. При этом обращает на себя внимание одно обстоятельство: изменение концентрации хлористого кадмия с 0,5 до 8 мг/л не привело к сколько-нибудь существенному изменению времени выживания (8-11 часов), которое в 3-4 раза ниже в сравнении со временем выживания 5, 10 и 20-дневных личинок.

В опытах с хлористым кадмием при всех исследованных концентрациях уровень токсикорезистентности 30-дневных личинок, оцениваемый по времени выживания, либо одинаков, либо несколько ниже в сравнении с 10-дневными личинками, а уровень токсикорезистентности 1,5 и 20-дневных личинок к высоким концентрациям хлористого кобальта (16-64 мг/л) заметно выше в сравнении с 10-дневными и даже 30-дневными личинками.

Токсикорезистентность 40-дневных, т.е. сформировавшихся мальков заметно возросла как по отношению к хлористому кадмию, так и по отношению к хлористому кобальту. Достаточно сказать, что процент гибели подопытных мальков в растворах хлористого кадмия 0,5; 1, 2 и 4 мг/л снизился почти в 2 раза (с 93-100% до 45-63%) и только в растворе токсиканта 8 мг/л отмечена 100% гибель 40-дневных мальков. Устойчивость мальков этого возраста возросла и по отношению к хлористому кобальту, пороговая леталь-

ная концентрация которого повысилась с 4 мг/л для 30-дневных мальков, до 16 мг/л для 40-дневных.

Максимальный уровень токсикорезистентности к исследуемым солям тяжелых металлов отмечен нами у 90- и 120-дневных мальков русского осетра. Только при концентрации 8 мг/л хлористого кадмия за 48 часов погибло 50% трехмесячных мальков и 9% четырехмесячных. Здесь отметим еще одно различие в уровне устойчивости 90-дневных мальков русского осетра и белуги. Пороговая летальная концентрация, вызывающая гибель части подопытных (26,7%) мальков белуги равна 0,5 мг/л, тогда как для одновозрастных мальков русского осетра такая концентрация превышает 4 мг/л, поскольку при этой концентрации гибели подопытных мальков не отмечено. Уровень токсикорезистентности четырехмесячных мальков белуги и русского осетра одинаков. Точно также одинаков уровень устойчивости трех- и четырехмесячных мальков белуги и русского осетра при всех испытанных концентрациях хлористого кобальта (от 4 до 64 мг/л).

Интересные данные получены при оценке возрастных особенностей токсикорезистентности по среднему времени выживания в токсических растворах исследованных металлов. Наиболее резкие колебания уровня токсикорезистентности отмечены у 10-дневных личинок - начальные этапы собственно личиночного периода развития (вскоре после перехода на этап самостоятельного питания) и у 40-дневных мальков - начальные этапы малькового периода развития. Колебания эти происходят на более или менее одинаковом исходном уровне токсикорезистентности. Так, например, среднее время выживания 10-дневных личинок и 40-дневных мальков в растворе кадмия 0,5 мг/л составило 37 и 36 часов (соответственно), в растворе 1 мг/л - 39 и 29 часов, в растворе 2 мг/л - по 36 ча-

сов. Только в токсическом растворе хлористого кадмия с концентрацией 4 мг/л время выживания 10-дневных личинок русского осетра (14 часов) оказалось почти в 3 раза короче в сравнении со временем выживания 40-дневных мальков (40 часов). При увеличении концентрации хлористого кадмия вдвое (с 4 до 8 мг/л) время выживания 40-дневных мальков сократилось с 40 до 11 часов (почти в 4 раза), а 10-дневных личинок с 14 до 3 часов, вследствие чего различие по времени выживания двух сопоставляемых возрастных групп русского осетра сократилось до минимума. И здесь необходимо подчеркнуть необходимость использования в острых опытах широкого диапазона токсических концентраций, чтобы делать надежные выводы об уровне токсикорезистентности различных возрастных групп. Если бы мы в наших опытах по какой-либо случайной причине ограничились лишь одной концентрацией 4 мг/л, то вынуждены были бы прийти к выводу о значительно более высоком уровне устойчивости 40-дневных мальков в сравнении с 10-дневными личинками. В действительности же, как следует из представленных данных, дело обстоит значительно сложнее.

Полученные нами материалы по уровню токсикорезистентности разновозрастных личинок и мальков русского осетра в опытах с хлористым кадмием и хлористым кобальтом позволяют прийти к выводу, что он постепенно снижается от ранних этапов личиночного периода развития к более поздним, достигает минимума в переходный период (от личиночного к мальковому) и вновь повышается от младших групп мальков к более старшим, достигая довольно высокого уровня устойчивости уже к 60-дневному возрасту, а максимума к 90-, 120-дневному.

С е в р ю г а. Иная картина выявляется при анализе экспериментальных данных, характеризующих уровень токсикорезистентности

разновозрастных личинок и мальков севрюги. Правда, устойчивость однодневных личинок севрюги, если судить по величине процента гибели, почти одинакова с устойчивостью однодневных личинок русского осетра ко всем исследованным концентрациям хлористого кадмия. Токсикорезистентность 5-дневных личинок севрюги (пороговая летальная концентрация, вызывающая гибель 50% особей равна 2 мг/л) снижается в два раза в сравнении с однодневными личинками (пороговая летальная концентрация равна 4 мг/л). Устойчивость 10-дневных личинок севрюги повышается в сравнении с 5-дневными: гибель 50% подопытных рыб имеет место при концентрации 4 мг/л, а 100% — при 8 мг/л, т.е. устойчивость 10-дневных личинок севрюги в два раза выше одновозрастных личинок русского осетра. Токсикорезистентность 20-дневных личинок севрюги практически одинакова с таковой 10-дневных личинок. Процент гибели 30-дневных личинок севрюги в растворах хлористого кадмия 0,5; 1, 2 и 4 мг/л оказался примерно одинаковым (27,36,36,23, соответственно) и только в растворе токсиканта 8 мг/л он резко возрос — до 82. В отличие от 30-дневных личинок севрюги, 30-дневные личинки русского осетра значительно менее устойчивы и процент их гибели в 3-4 раза выше (95-100%) почти при всех исследованных концентрациях (от 0,5 до 4 мг/л), не говоря уже о концентрации 8 мг/л. Минимальная летальная концентрация, вызывающая 100% гибель 30-дневных личинок русского осетра равна 1 мг/л, а минимальная летальная концентрация, вызывающая 100% гибель 30-дневных личинок севрюги более 3 мг/л.

Наконец, есть еще одно существенное различие между личинками севрюги и русского осетра. Оно касается динамики изменения уровня устойчивости в личиночный период. У севрюги имеет место постепенное увеличение токсикорезистентности к кадмию от 5-днев-

ных личинок к 10-дневным, от 10-дневных к 20-дневным и от 20-дневных к 30-дневным. Наименее устойчивы 5-дневные личинки, наиболее устойчивы однодневные личинки. У русского осетра, например - имеет место постепенное снижение уровня токсикорезистентности к кадмию от однодневной личинки к 30-дневной, т.е. наиболее устойчивы однодневные, а наименее - 30-дневные.

Выявленные различия уровня устойчивости севрюги и русского осетра в личиночный период жизни по величине пороговой летальной концентрации и проценту гибели разновозрастной личинки в токсических растворах хлористого кадмия различных концентраций нашли свое подтверждение и при сопоставлении времени выживания личинок обоих видов в разных концентрациях токсиканта. Правда, в этих опытах получены и некоторые уточнения, в частности, минимальное время выживания в растворах хлористого кадмия 4 и 8 мг/л отмечено у 20-дневных личинок севрюги. В этом мы видим еще одно различие по уровню токсикорезистентности между личинками севрюги и русского осетра, у которых, как мы уже отмечали, минимальное время выживания при этих концентрациях отмечено у 30-дневных личинок.

Уровень токсикорезистентности мальков севрюги заметно ниже в сравнении с личинками. Судя по величине процента гибели устойчивость 60-дневных мальков севрюги к растворам хлористого кадмия 0,5; 1, 2, 4 мг/л примерно в 3 раза ниже в сравнении с 30-дневными личинками. Это различие сохраняется и для 90-дневных мальков. Только при самой высокой концентрации токсиканта - 8 мг/л величина процента гибели рыб почти одинакова для трех исследованных возрастных групп мальков - 60, 90 и 120-дневных. Максимальный уровень устойчивости отмечен у 120-дневных мальков севрюги.

Полученные нами данные по возрастной динамике токсикорезистентности мальков севрюги, оцениваемой на основе процента гибели подопытных рыб, полностью согласуется с материалами, характеризующими время вживания разновозрастных мальков при различных концентрациях хлористого кадмия. В целом уровень токсикорезистентности личинок и мальков севрюги существенно различается между собой и у личинок он заметно выше в сравнении с мальками. Однако и внутри каждой возрастной группы имеет место существенное изменение токсикорезистентности, показателями которой служат процент гибели при одной и той же концентрации, величина пороговой летальной концентрации и время выживания.

В опытах с хлористым кобальтом получены данные, в общих чертах аналогичные тем, которые выявлены при анализе возрастной динамики токсикорезистентности личинок и мальков севрюги. Вновь максимальный уровень устойчивости отмечен у однодневных личинок, а судя по среднему времени выживания, минимальная устойчивость имеет место у 20-дневных личинок. Особенно четко это проявляется в опытах с концентрацией хлористого кобальта 32 мг/л. Однако при самой высокой концентрации хлористого кобальта - 64 мг/л время выживания 10-дневных личинок резко снижается (почти в 3 раза) и становится примерно одинаковым с 20-дневными личинками. Среди мальков севрюги самый низкий уровень устойчивости к хлористому кобальту наблюдался у 90-дневных особей, а максимальный - у 120-дневных.

Таковы основные результаты проведенных нами опытов по устойчивости разновозрастных групп личинок и мальков трех видов рыб к хлористым солям двух тяжелых металлов - кадмий и кобальту. Они показали, что уже в эти ранние периоды индивидуального развития четко проявляются видовые особенности устойчивости осе-

вых рыб к токсикантам неорганической природы. Эти особенности находят свое проявление не только во времени выживания и процента гибели разновозрастных личинок и мальков каждого из трех исследованных видов рыб, но в величине пороговой летальной концентрации. Вместе с тем у каждого из трех исследованных видов осетровых токсикорезистентность к кадмию и кобальту претерпевает сложные возрастные изменения внутри личиночного и малькового периодов индивидуального развития.

Регрессионный анализ полученных данных, характеризующих связь между параметрами "концентрация - время" и "время - процент гибели" показал, что при пропорциональном изменении концентраций кадмия и кобальта для каждого из трех видов в личиночном периоде развития зависимость между этими параметрами имеет прямолинейную форму, а в мальковом периоде развития зависимость "концентрация-время" для кадмия параболическая, а для кобальта - прямолинейная. Зависимость "время-процент гибели" для обоих тяжелых металлов - прямолинейная.

НОВЫЙ МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ И ИСХОДА ТОКСИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЕЩЕСТВА

В современной ихтиотоксикологии в качестве основных параметров токсичности используют время выживания подопытных рыб или процент их гибели при заданной концентрации вещества, либо тот и другой показатель порознь. Однако процент летальности ($СЛ_{т}$) может быть более ценным показателем, если даст конкретные сведения об индивидуальной устойчивости рыб в единицу времени в той или иной концентрации вещества. Иными словами речь идет об оценке силы летального эффекта в единицу времени, которую можно рассчитать следующим образом:

$$W_c = \frac{CL_n}{M_1} \quad (1)$$

где W_c - токсический эффект при с-определенной концентрации;

CL_n - процент гибели испытуемых рыб в данной концентрации;

M_1 - среднее арифметическое время выживания рыб.

Однако формула (1) не может давать точные сведения при сравнении токсичности различных групп ядов с равным процентом гибели и временем выживания рыб, получаемые при разной экспозиции опытов. С другой стороны для каждого значения: процента гибели и времени выживания существуют при полученных экспериментальных данных специфические вспомогательные переменные. При использовании их для расчета токсического эффекта той или иной концентрации веществ выведена следующая формула

$$W_c = \frac{CL_n (M - M_1) \sqrt{n}}{M_1 \sigma_1} \quad (2)$$

где $M - M_1$ - разница между временем экспозиции и средним временем выживания рыб;

n - число наблюдений;

σ_1 - среднее квадратичное отклонение

но поскольку $\frac{\sqrt{n}}{\sigma_1} = m_1$, то формула (2) примет следующий вид

$$W_c = \frac{CL_n (M - M_1)}{M_1 m_1} \quad (2.1)$$

где m_1 - ошибка средней арифметической.

В некоторых случаях наблюдается гибель подопытных рыб в контрольных опытах. В этом случае отклонение в оптимальных условиях нужно учитывать по следующей формуле

$$W_c = \frac{CLn_2(M-M_1)}{M_1 m_1} - \frac{CLn_2(M-M_2)}{M_2 m_2} \quad (3)$$

Второй многочлен выражает изменения в оптимальных условиях. В случаях если гибель рыб в контрольных опытах не наблюдается то W_c может быть получена по более простой формуле, если заменим CLn на условный знак P

$$W_c = \frac{P}{M_1} \cdot t \quad (4)$$

где t - критерий достоверности различий с контрольным опытом, поскольку экспозиция опыте равна времени выживания рыб и при этом величина $\frac{M-M_1}{m_1}$ будет равна величине t .

По этому методу был рассчитан весь фактический материал исследования. Предложенный нами математический метод не зависит от числа наблюдений, учитывает амплитуду токсических и летальных концентраций и дает высокую точность оценки степени токсичности различных концентраций вещества.

ХАРАКТЕР ЗАВИСИМОСТИ УСТОЙЧИВОСТИ РЫБ К СОЛЯМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ОТ ВОЗРАСТА И МАССЫ

Как известно, в процессе индивидуального развития наряду с возрастом меняются масса и размеры рыб. Поэтому при определении возрастной динамики токсикорезистентности, естественно, возникает вопрос о том, в какой мере устойчивость рыб зависит от возрастных особенностей исследуемой группы рыб, а в какой от размерно-весовых? Вопрос этот довольно сложный и в современной ихтиотоксикологической литературе на него нет однозначного ответа. К настоящему времени сложились две точки зрения по этому вопро-

су. Одни авторы показали, что увеличение массы с возрастом влечет за собой повышение уровня токсикорезистентности к ядам неорганического ряда (солям тяжелых металлов). Другие авторы показали, что ведущими в определении уровня устойчивости рыб к ядам органического ряда являются возрастные особенности токсикорезистентности и не зависят от простого изменения веса тела рыб. Имеющие в нашем распоряжении экспериментальные данные подтверждают существующие точки зрения и позволяют включаться в обсуждение этого вопроса.

В опытах на 60-120-дневных мальках русского осетра установлено, что хотя вес этих мальков различается в 4 раза (2,7 и 11,7 г соответственно), время выживания в токсическом растворе хлористого кадмия 0,5 мг/л у рыб обеих возрастных групп составило 46-48 часов. Аналогичные данные получены и при сопоставлении времени выживания мальков русского осетра в растворах с более высокими концентрациями 1, 2 и 4 мг/л (46-48, 46, 6-48 и 43-48 часов соответственно). Различия в весе двух и четырех-месячных мальков достигало 3-4 кратной величины.

Остановившись на устойчивости личинок и мальков осетровых рыб к токсическому действию концентрации хлористого кадмия 8 мг/л прежде всего отметим, что если устойчивость личинок и мальков испытываемых видов рыб к токсическим растворам 0,5; 1, 2 и 4 мг/л зависит от их возрастных особенностей, то в растворе 8 мг/л зависит от их размерно-весовых показателей. Так, в этих опытах на 60- и 120-дневных мальках русского осетра их средний вес варьировал от 3,1 г (60-дневные) до 10,6 г (120-дневные), т.е. в 3,4 раза, время выживания у обеих групп мальков в токсическом растворе 8 мг/л составило 37,67 часа (60-дневные) и 46,91 час (120-дневные), т.е. с увеличением массы рыб с возрастом увеличивается

уровень устойчивости рыб к ядам. Это увеличение во времени выживания 120-дневных мальков в растворе 8 мг/л статистически достоверно ($P < 0,01$).

Аналогичные результаты были получены при анализе уровня устойчивости других видов осетровых рыб к токсическим действиям различных концентраций кадмия и кобальта.

Многочисленные серии опытов на одновозрастных, но резко-весовых мальках севрюги и русского осетра к токсическим действиям различных концентраций фенола, кадмия и кобальта позволяют считать, что при постановке токсикологических экспериментов, токсический эффект концентраций ядов является ключевым в решении возникшего вопроса, т.е. в какой мере устойчивость рыб зависит от возрастных особенностей исследуемых групп рыб, а в какой от размерно-весовых?

МЕХАНИЗМ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ СОЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ КОБАЛЬТА И КАДМИЯ

Изучение механизма токсического действия вредных веществ представляет интерес для правильного выбора метода определения величины пороговой или предельно допустимой концентрации химического соединения.

Анализ полученных данных свидетельствует о разных механизмах токсических действий низких и высоких концентраций хлористого кадмия и хлористого кобальта и позволяет считать, что специфические особенности действия разных концентраций выражаются в количественном варьировании неспецифической формы реагирования, которой характеризуются различные реакции испытуемых видов осетровых рыб. Такая форма реагирования сходна с парадоксальной реакцией, т.е. молодь сразу обнаруживает высокие и относительно

высокие концентрации токсикантов, свидетельствующие о высокой реакции защиты и привлекаются низкими и относительно низкими концентрациями, которые говорят о наличии слабой или отсутствию реакции защиты до появления повреждающего интоксикационного эффекта. По-видимому одним из наиболее важных факторов, существенно влияющим на уровень реагирования различных реакций молоди является то, что кадмий и кобальт — микроэлементы.

На более поздних стадиях онтогенеза это сложное многообразное явление исчезает. Нам удалось установить возраст в котором проявляется максимальная реакция защиты и устойчивости осетровых рыб: русского осетра и севрюги к токсическим действиям низких концентраций хлористого кадмия, а также низких и высоких концентраций хлористого кобальта. Оказалось, что максимальное развитие реакции защиты у молоди русского осетра происходит в возрасте 67 дней, а у молоди севрюги в возрасте 104 дня, т.е. скорость развития этой реакции происходит раньше у молоди русского осетра, чем у севрюги на 37 дней. Для молоди белуги максимальную реакцию защиты удалось установить только для концентраций хлористого кобальта в возрасте 66-67 дней.

В наших опытах показателем токсичности различных концентраций исследованных металлов служили процент и время гибели разновозрастных личинок и молоди трех видов осетровых рыб. Эти показатели весьма демонстративны и хорошо дополняют друг друга. По вполне понятным причинам, исследуя возрастную динамику токсикорезистентности осетровых рыб в мальковом и особенно в личиночном периоде, продолжительность которого исчисляется несколькими десятками дней (до месяца) мы не могли проводить подострые (от 10 до 30 дней) и хронические (от одного до трех месяцев) опыты и были вынуждены ограничиться лишь острыми опытами, пос-

кольку в наших опытах значительный процент личинок и особенно молоди выживали, мы считали необходимым оценить физиологическое состояние этих рыб с помощью более тонких гематологических показателей, избрав для этих целей количество гемоглобина и число эритроцитов.

В результате проведенных опытов главным образом, на разновозрастных мальках установлено следующее.

Испытано токсическое действие трех концентраций хлористого кобальта 4, 16 и 64 мг/л. Время экспозиции от 24 до 96 часов. Концентрация 4 мг/л вызывает у трехмесячной молоди русского осетра в течение 48 часов снижение количества гемоглобина на 11,3%, не оказывая при этом заметного влияния на число эритроцитов. Более выразительная реакция отмечена в растворе хлористого кобальта 16 мг/л: содержание гемоглобина снизилось на 57%, число эритроцитов - на 9,4%. Новое увеличение концентрации хлористого кобальта в 4 раза (до 64 мг/л) вопреки ожиданию привело не к дальнейшему снижению содержания гемоглобина, а к его увеличению на 61,2%, хотя число эритроцитов при этом снизилось на 23%.

Весьма интересна реакция трехмесячной молоди севрюги, у которой под влиянием всех трех исследованных концентраций хлористого кобальта произошло значительное повышение количества гемоглобина крови. Минимальная из них - 4 мг/л привела к увеличению концентрации гемоглобина с 1,64 до 4,7%, т.е. почти в 2,5 раза; средняя - 16 мг/л вызвала увеличение содержания гемоглобина с 1,63 до 2,36 г%, т.е. на 45%. Сходная по интенсивности реакция отмечена и у молоди севрюги в растворе хлористого кобальта 64 мг/л - увеличение гемоглобина на 51%. Изменение числа эритроцитов у молоди севрюги оказалось менее выразитель-

ным: в растворе хлористого кобальта 4 мг/л - на 8,5%, 16 мг/л на 5,4% и 64 мг/л - на 27,1%.

В отличие от молодежи севрюги, у одновозрастной молодежи белуги концентрация гемоглобина под влиянием хлористого кобальта 4 мг/л практически не изменилась (2,23 - 2,04 г%). Однако более высокие концентрации 16 и 64 мг/л вызвали увеличение количества гемоглобина на 39% (с 1,97 до 3,7 г%) и на 56% (с 2,23 до 3,48 г%) - соответственно. Что касается числа эритроцитов, то в растворе 16 мг/л хлористого кобальта оно увеличилось на 43%, а в растворе 64 мг/л лишь на 7,3%.

Теперь обратимся к результатам опытов с хлористым кадмием. Хлористый кадмий в концентрациях 0,5; 2 и 8 мг/л в течение 48 часов вызывал у трехмесячных мальков русского осетра снижение концентрации гемоглобина на 26-37%. Разнонаправленные изменения отмечены при подсчете числа эритроцитов. Концентрация хлористого кадмия 0,5 мг/л приводила к увеличению числа эритроцитов на 21,4% (с 479 до 581 тыс.шт.), а более высокие концентрации токсиканта вызвали снижение - на 6,3-19% от исходного уровня. Менее выразительные изменения гематологических показателей отмечены в опытах с одновозрастной молодежью севрюги. Количество гемоглобина при действии высоких концентраций хлористого кадмия либо вообще не меняется (2 мг/л), либо незначительно (на 10,5%) снижается - (8 мг/л). Только самая маленькая концентрация хлористого кадмия (0,5 мг/л) вызвала достоверное снижение концентрации гемоглобина (на 27%). Что касается числа эритроцитов, то и у мальков севрюги вновь проявляется разнонаправленные изменения: в растворе 2 мг/л их число снижается (на 23%), а в растворе 8 мг/л - повышается (на 29,9%).

В опытах с трех и четырехмесячными мальками белуги время

наблюдений было увеличено с 48 до 72 часов. 0,5 мг/л хлористого кадмия вызывает у белужат увеличение концентрации гемоглобина на 77,8% (с 2,23 до 3,97 г%) и числа эритроцитов на 28,1% (с 773 до 991 тыс.шт.). Увеличение концентрации хлористого кадмия с 0,5 до 1 мг/л приводит к снижению количества гемоглобина на 27,1% (с 2,33 до 1,62 г%) и числа эритроцитов на 30,3% (с 773 до 539 тыс.шт.). Новое увеличение концентрации хлористого кадмия вдвое (до 2 мг/л) приводит к увеличению гемоглобина крови на 46,2% (с 1,97 до 2,88 г%) и числа эритроцитов на 49,2% (с 499 до 744 тыс.шт.). Наконец, в растворах хлористого кадмия 4 и 8 мг/л у мальков белуги отмечено повышенное в сравнении с контролем содержание гемоглобина (на 49,6 и 58% соответственно) и число эритроцитов (на 25,6 и 24,6% соответственно). Возможно, выявленное нами повышение содержания количества гемоглобина и числа эритроцитов у молоди белуги под влиянием низких и высоких концентраций хлористого кадмия отражает фазу компенсаторной адаптации организма на стрессорное воздействие токсической природы и носит, по-видимому, временный характер.

Результаты проведенных гематологических исследований вновь продемонстрировали наличие видовых особенностей в реакции молоди осетровых на хлористые соли кадмия и кобальта. Наряду с этим они свидетельствуют о довольно высокой устойчивости трех- и четырехмесячной молоди осетровых к исследованным тяжелым металлам и вновь подтверждают, что низкие концентрации хлористого кадмия и хлористого кобальта вызывают у осетровых рыб такие же, а иногда более резкие патологические сдвиги в кроветворении, что и высокие концентрации, а также меньшую токсичность кобальта в сравнении с кадмием.

При изучении совместного действия кадмия и кобальта в опы-

тех использовали 25-дневных личинок русского осетра и севрюги, 45-, 55-дневных мальков белуги и 100-дневных мальков севрюги. Ставили следующие варианты опытов: 1) смесь хлористого кадмия 4 мг/л (50%) и хлористого кобальта 4 мг/л (50%) и по 8 мг/л чистых растворов токсикантов при экспозиции 24 часа (личинки русского осетра и севрюги); 2) смесь хлористого кадмия 0,5 мг/л с хлористым кобальтом 16 мг/л при экспозиции 100 часов (мальки севрюги); 3) смесь хлористого кадмия 4 мг/л с хлористым кобальтом 64 мг/л, а также 8 мг/л хлористого кадмия с 16 мг/л хлористого кобальта при экспозиции 48 часов (мальки белуги).

Во всех сериях опытов выявлено простое суммирование токсических эффектов (аддитивный эффект) двух исследованных металлов.

В В О Д Ы

1. Проведено изучение уровня токсикорезистентности разновозрастных личинок и молоди белуги, русского осетра и севрюги к хлористым солям двух тяжелых металлов: кадмий и кобальту. Показателем устойчивости служили величина летальной концентрации, процент и время выживания рыб при разных концентрациях токсиканта.

2. Среди трех исследованных видов осетровых наименее устойчивы к солям тяжелых металлов оказались личинки белуги, наиболее устойчивыми личинки севрюги, промежуточное положение занимают личинки русского осетра. В мальковом периоде развития наименее устойчивы мальки севрюги, наиболее устойчивы мальки русского осетра, промежуточное положение занимают мальки белуги. Выявленные видовые особенности токсикорезистентности личинок проявляются по каждому из трех используемых показателей.

3. Обнаружены видовые различия динамики токсикорезистент-

ности осетровых в личиночном периоде развития: у белуги наименее устойчивы 10 и 30-дневные личинки, у севрюги 5 и 20-дневные, у русского осетра - 30-дневные.

4. Уровни токсикорезистентности личинок и мальков существенно различаются между собой: личинки белуги и русского осетра значительно менее устойчивы, чем мальки, а личинки севрюги значительно устойчивее, чем мальки. Однако личинки менее устойчивы к высоким концентрациям хлористого кадмия и хлористого кобальта, чем мальки. Вместе с тем внутри каждой из двух возрастных групп имеет место существенное изменение токсикорезистентности, что находит свое отражение как во времени выживания рыб, так и в величине пороговой летальной концентрации.

5. Токсикорезистентность русского осетра и белуги постепенно снижается от ранних этапов личиночного развития к более поздним и становится минимальной в переходный период (от личиночного к мальковому) и вновь повышается от младших возрастных групп к более старшим, достигая довольно высокого уровня к 60-дневному возрасту. Токсикорезистентность севрюги снижается на ранних этапах незначительно, становится минимальной к 90-дневному возрасту и вновь повышается, достигая максимального уровня к 120-дневному возрасту.

6. Кадмий значительно более токсичен для личинок и мальков исследованных видов осетровых в сравнении с кобальтом. Это находит свое проявление не только в процентах и времени выживания личинок и мальков при разных концентрациях, но и в величинах минимальной летальной ($С_{Л100}$) и максимально переносимой (СМТ) концентраций металлов, которые различаются в 3-10 раз.

7. При пропорциональном разведении концентраций кадмия и кобальта для каждого из трех видов осетровых рыб в личиночном

периоде развития зависимость "концентрация-время выживания" имеет прямолинейную форму, а в мальковом периоде развития для концентраций кобальта также прямолинейная, а для концентраций кадмия криволинейная (параболическая). Зависимость "время выживания-процент гибели" во всех случаях имеет прямолинейную форму.

8. Возрастная изменчивость уровня токсикорезистентности на ранних этапах онтогенеза определяется в первую очередь степенью зрелости разных функциональных систем организма и в меньшей мере простым изменением массы тела.

9. Токсический эффект концентрации яда является ключевым в решении возникшего вопроса: в какой мере устойчивость зависит от возрастных особенностей исследуемых групп рыб, а в какой от размерно-весовых. Однако нельзя рассматривать каждый из этих факторов в отдельности, поскольку реакция организма рыб в целом направлена на поддержание борьбы за существование с раздражителем внешней среды, изменяющим постоянство среды организма. Возраст и масса рыб дифференцируют друг друга при определении уровня токсикорезистентности рыб к ядам, который в первую очередь зависит от величины летальных концентраций ядов, от природы вещества и механизма его токсического действия.

10. Установлен новый математический метод расчета и определения динамики развития и исхода токсического эффекта разных концентраций вещества, который не зависит от числа наблюдений, точно различает амплитуды токсических и смертельных концентраций и дает высокую точность оценки степени токсичности различных концентраций вещества даже при одинаковом времени выживания и проценте гибели испытуемых групп рыб в зависимости от колебаний факторов индивидуальной устойчивости рыб в этих концентрациях.

11. Специфические особенности действия разных концентраций металлов выражаются в количественном варьировании неспецифической формы реагирования, которой характеризуются различные реакции испытуемых видов осетровых рыб и которая сходна с парадоксальной реакцией.

12. С увеличением возраста рыб отмечено стремительное нарастание уровня токсикорезистентности к низким концентрациям хлористого кадмия и ко всем исследуемым концентрациям хлористого кобальта. Установлен возраст, в котором проявляется максимальная устойчивость осетровых рыб: у русского осетра с 67-дневного возраста, севрюги с 104-дневного возраста. Для белуги точный возраст установить не удалось для низких концентраций хлористого кадмия, а для концентраций хлористого кобальта с 66-дневного возраста.

13. Низкие концентрации хлористого кадмия и хлористого кобальта вызывают у осетровых рыб до 120-дневного возраста такие же патологические сдвиги в кроветворении, что и высокие концентрации, оцениваемые по гематологическим показателям крови: концентрации гемоглобина и числу эритроцитов.

14. Токсичность смешанных растворов кадмия и кобальта оказывает на каждый из трех видов осетровых рыб простое суммарное действие. Более четко выявлен аддитивный эффект в концентрациях смешанных растворов, которые равны сумме концентраций отдельных растворов.

15. На основании результатов исследования рекомендуется снизить ПДК этих металлов, особенно кадмия, до природных концентраций в естественных водоемах, для обеспечения возможности выживания экономически ценных видов рыб - осетровых на самых "уязвимых" стадиях развития.

Работы, опубликованные по теме диссертации

1. Видовые особенности устойчивости осетровых к солям тяжелых металлов в раннем онтогенезе. В сб.: Экологическая физиология и биохимия рыб. Астрахань, 1979, т.П, стр.44-45 (совместно с А.А.Мусаэджад).

2. Возрастная динамика устойчивости русского осетра к солям тяжелых металлов. В сб.: Экологическая физиология и биохимия рыб. Астрахань, 1979, т.П, стр.43-44 (совместно с Т.Ф.Аль-кубейси).

Подп. в печ. 30/X 1981 г.
Объем 1,75 п.л.

Формат 60x84 1/16

Тираж 120
Заказ 1229

