

*И. С. Мухачёв, С. В. Пономарёв, Ю. В. Фёдоровых, Ю. М. Баканёва*

## ЭКОЛОГО-РЫБОХОЗЯЙСТВЕННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ОЗЕР ЗАУРАЛЬЯ

Одним из оригинальных направлений практики рыбного хозяйства, в котором задействованы специалисты тюменских вузов, является эколого-рыбохозяйственная рекультивация естественных озёр заморного типа, преобладающих в ландшафте Западной Сибири. В 60-е гг. XX столетия перед рыбохозяйственными организациями региона впервые была поставлена задача по разработке эффективных технологий вовлечения самовозобновляемой кормовой базы озёр заморного типа в продуцирование ценной пищевой рыбы, поскольку местная ихтиофауна таких водоемов, по причине специфических экологических условий, тугорослая и малоценная, а общие уловы составляют всего 15–35 кг/га в год. С учетом естественных закономерностей функционирования в природе родников с водой, интенсивно насыщенной кислородом, которые становятся местом скопления на зимовку, «зимовальными ямами» рыб разных видов и всех возрастных групп, специалистами предложены варианты технико-мелиоративных схем, которые обеспечивают благополучную зимовку рыбы, выращиваемой в озерах заморного типа. Практические действия по преобразованию экосистем таких мелководных гиперэвтрофных озёр позволяют устранить их заморность в подледном режиме, способствуют сохранению и эффективному использованию самовозобновляемой кормовой базы, положительно влияют на рост вселяемой молоди поликультуры быстрорастущих объектов товарного рыбоводства, позволяют выращивать на порядок больше ценной рыбы по сравнению с традиционным промыслом местной тугорослой рыбы. Интенсивное использование природно-ресурсного потенциала озёр заморного типа Зауралья и всей Западно-Сибирской равнины, безусловно, положительно отразится на производственных показателях российской аквакультуры. В этой связи возрастает роль региональных управленческих структур, реально вовлекающих пользователей местных водоёмов в организационно-производственную деятельность по созданию кластерного рыбоводства как способа повышения производства экологически безопасной рыбной продукции в крупных промышленных масштабах.

**Ключевые слова:** мелиорация озёр, аэрация, рыхление ила, рекультивация, рыбопродуктивность, кластерное рыбоводство, водоем-спутник.

### Введение

Специфика комплексных образовательных и научно-исследовательских задач, выполняемых вузами г. Тюмени: Тюменским государственным университетом (ТюмГУ) и Государственным аграрным университетом Северного Зауралья (ГАУСЗ), обусловлена масштабами региона и аспектами важнейших направлений социального и экономического развития. В этих условиях, например, устойчивая аграрная и рыбохозяйственная деятельность строится на принципе глубокого взаимодействия научного познания природных явлений, влияющих на биоразнообразие разнотипных ландшафтов Западной Сибири, включая водоемы Обь-Иртышского бассейна, и их товарную рыбопродуктивность как экономический базис для местного населения. При этом учитываются градиенты нормы стабильности экологических процессов окружающей среды. Главное, по нашему мнению, состоит в том, чтобы специалисты, работающие в любых отраслях экономики региона, четко владели логикой «не навреди природе» и умели не только осуществлять ремедиацию вынужденно нарушенных участков ландшафта, но и создавать биотехнологии с фактической устойчивостью экологических систем, в частности, при хозяйственном использовании природных объектов в аграрном, рыбохозяйственном и других производствах.

В Тюмени в этой связи, для прогресса регионального рыбного хозяйства, на базе биологических институтов государственных университетов целенаправленно ведется подготовка специалистов – бакалавров и магистров, знающих и умеющих практически выполнять широкопрофильные функции в рамках своей будущей деятельности на производственных предприятиях, в службах регулирования природопользования и научных лабораториях [1–6].

## Эколого-рыбохозяйственная рекультивация естественных деструктивных систем Западной Сибири

Одним из оригинальных направлений практики рыбного хозяйства, в котором задействованы специалисты тюменских вузов, является эколого-рыбохозяйственная рекультивация естественных деструктивных систем – озер заморного типа, преобладающих в ландшафте Западной Сибири.

Крупнейший естественный ресурс для производства экологически безопасной пищевой товарной рыбы в промышленных масштабах по разным направлениям и технологиям представляют многочисленные водотоки, озера, артезианские и геотермальные воды Урала и Западной Сибири. В пределах Западно-Сибирской равнины от Урала до Енисея общая акватория озер составляет 8,7 млн га [7, с. 67]. В ландшафте Западно-Сибирской равнины 5,4–5,5 млн га озер (или 65 %) относятся к заморному типу водоемов, т. е. с дефицитом кислорода в воде, ежегодно либо периодически возникающим в зимний период.

По составу рыбного населения и ихтиологической классификации озера с ежегодными заморами являются карасевыми. Озера с острым дефицитом кислорода в воде зимой раз в 9–15 лет представлены плотвично-окуневым ядром ихтиоценоза [8]. Всем этим озерам Зауралья и Западной Сибири свойственны стабильно высокие показатели развития зоопланктонных и зообентосных сообществ [9], которые получены на основе анализа большого массива данных о динамике развития зоопланктона и зообентоса лесостепных и подтаёжных озер Зауралья. Эти данные объективно отражают повышенный уровень естественной самовозобновляемой кормовой базы озёр региона.

Новейшие исследования [10, 11] вновь подтверждают чрезвычайно высокую продуктивность озер лесостепи всей Западной Сибири. Феномен биопродуктивности западносибирских озер, включая лесостепные и подзоны тайги, как уже отмечали специалисты биологического и географического направлений науки [12–15], характеризуется естественной способностью интенсивного продуцирования органического вещества.

В 60-е гг. XX столетия впервые перед специалистами в области рыбного хозяйства Тюмени и всей Западной Сибири была поставлена задача по разработке эффективных технологий вовлечения самовозобновляемой кормовой базы озёр заморного типа в продуцирование ценной пищевой рыбы, поскольку местная ихтиофауна таких водоемов, по причине специфических экологических условий, тугорослая и малоценная, а общие уловы составляют всего 15–35 кг/га в год.

Идея об основных направлениях эколого-мелиоративного преобразования заморных озер в производственную базу выращивания ценных видов рыб была предложена заведующей лабораторией гидробиологии СибНИИРХ В. С. Юхневой [16, 17], которая обосновала для исследований и инженерно-технической мысли задачи о необходимости рыхления и аэрации донных отложений озер заморного типа. Данное научно-производственное направление стало актуальным, поскольку в 1968 г. в Тюменской области был пущен в эксплуатацию Казанский озерный товарный рыбхоз (ОТРХ) – первое в Западной Сибири предприятие, предназначенное для выращивания на 6 тыс. га озер заморного типа нормативных 490 т ценной рыбы, дополнительно к традиционному улову (40–50 т) местной тугорослой рыбы – карасей (*Carassius carassius*, *Carassius auratus gibelio*), плотвы (*Rutilus rutilus*) и окуня (*Perca fluviatilis*). В 1972 г. Казанский ОТРХ достиг проектной мощности и на протяжении последующих 45 лет выращивает по 90–110 кг/га ценной товарной рыбы в год, что в 4–5 раз больше улова местной тугорослой рыбы.

Используя аналитические данные практики мелиорации озер и выращивания товарной рыбы в Тюменской и соседних с ней областей, специалисты СибрыбНИИпроект, в соответствии с научным биологическим обоснованием, создали серию мелиоративных агрегатов по рыхлению ила и аэрации воды, работающих в период открытой воды и в подледном режиме. Все исследования и производственные эксперименты систематически обсуждались с ведущими академическими НИИ того времени. Именно эти материалы послужили основой для модернизации техники по рыхлению ила и внедрению прогрессивной технологии в практику товарного рыбоводства [18].

Одновременно в 70–80-е гг. XX в. вблизи г. Тюмени был проведён «макроэксперимент в природе» по «экологическому омоложению» – преобразованию заморного озера Андреевское в незаморное на основе гидротехнической мелиорации. Это заморное озеро карасевого ихтиологического типа, типичное для ландшафта Западно-Сибирской равнины, имеющее сток в весеннее время в систему р. Тобол, максимальную глубину 1,5 м, среднюю – 1 м, в 1968 г. было зарегулировано плотиной. Благодаря гидротехническому сооружению максимальный уровень воды

в озере был поднят на 0,9 м, а его площадь составила 1950 га. Одновременно на акватории озера были установлены два земснаряда типа ЗГМ-350 для изъятия песка на строительные цели. Местный рыболовецкий колхоз продолжал ловить карася, вылавливая ежегодно в среднем по 30 кг/га. В 70-е гг. озеро стали зарыблять личинками пеляди – *Coregonus peled* и выращивать товарных сеголетков средней массой 120–130 г/шт. Для отлова пеляди применяли турбоаэраторы конструкции СибрыбНИИпроект [19, 20], поскольку водоём по своим экологическим условиям оставался типично заморным. Однако спустя 18–20 лет в оз. Андреевское на основе вселений появились окунь *Perca fluviatilis*, плотва *Rutilus rutilus*, щука *Esox lucius*, лещ *Abramis brama*, судак *Stizostedion lucioperca*, ёрш *Gymnocephalus cernuus*, которые с тех пор воспроизводятся в озере и благополучно зимуют, что указывает на наличие обширных зон с оптимально высоким содержанием кислорода для всех оксифильных рыб. Таким образом, озерная экосистема из мелководного заморного состояния с карасевым ихтиоценозом трансформировалась в обычное экологически устойчивое многовидовое сообщество рыбного населения. Следовательно, можно констатировать, что масштабное углубление дна на площади порядка 300 га до 10–15 м прежде мелководного заморного водоема оптимизировало процессы сезонной динамики кислорода в воде, сделав гидроэкосистему благоприятной для обитания рыб бореального равнинного комплекса во все сезоны года.

Следует отметить, что данная экологическая реабилитация озера была осуществлена по инициативе строительной организации, имеющей целью добычу песка для производства силикатного кирпича и других видов строительных работ.

В процессе эколого-рыбохозяйственного мониторинга оз. Андреевское в 70–90-е гг. нами было выявлено [21, 22], что при изъятии грунта из гиперэвтрофных озер с карасевым ихтиоценозом оптимальной должна быть глубина в пределах 6–7 м при сохранении горизонтально ровного дна. Это довольно быстро позволяет создать благоприятные биотопы для бентосных беспозвоночных, являющихся пищей для многих рыб. Чрезмерное и неровное углубление, наоборот, способствует созданию очагов возникновения в придонной зоне метана и сероводорода.

Рыбохозяйственные предприятия подобный объем технических мелиораций на заморных озерах выполнить не в состоянии, поэтому были расширены исследования по применению новых схем (методик) аэрации озер заморного типа и их преобразования (рекультивации) в продуктивные водоемы для поликультуры. Требовалось определить наименее затратные, но эффективные варианты мелиорации для ведения высокопродуктивного выращивания товарной рыбы. Нами [23, 24], на основе взаимодействия с практиками рыбного хозяйства Зауралья, предложены конкретные технико-мелиоративные и рыбоводные обоснования и технологии, позволяющие сравнительно в короткие временные сроки создавать рентабельные предприятия по выращиванию товарной рыбы в местных водоёмах.

С учетом естественных закономерностей функционирования в природе родников с водой, интенсивно насыщенной кислородом, которые становятся местом (участком) скопления на зимовку («зимовальными ямами») рыбы разных видов и всех возрастных групп, специалистами предложены варианты технико-мелиоративных схем, обеспечивающих благополучную зимовку рыбы, выращиваемой в озерах заморного типа. Прежде всего, по инициативе Н. П. Слинкина, были разработаны методы сохранения рыбы в зимний период в этих озерах, её концентрации в искусственно созданном роднике – «живуне», а затем, по достижении товарной массы вселенной рыбы, – её полный и экономичный отлов [25–29].

На рис. 1 представлена схема создания водоёма-спутника и установки экономичных турбоаэраторов, обеспечивающих на практике оперативный отлов рыбы товарных размеров и сохранение молоди в течение зимы до наступления следующего нагульного периода.

Площадь водоема-спутника определяется из расчета 0,07–0,08 % акватории озера, что позволяет после ледостава (начало ноября) постепенно привлекать всю рыбу на проаэрированный поток в водоём-спутник. По мере необходимости крупная товарная рыба отлавливается селективно ставными орудиями лова в циркулирующем потоке, а мелкая остается в водоёме до наступления весны.

Одновременно совершенствовалась биотехника рыбоводного процесса, создающая оптимальные условия выращивания и продолжительного содержания пеляди, карпа и другой ценной рыбы в мелиорированных участках озер заморного типа [30–34], что существенно повышает рыбохозяйственную значимость используемых озер.

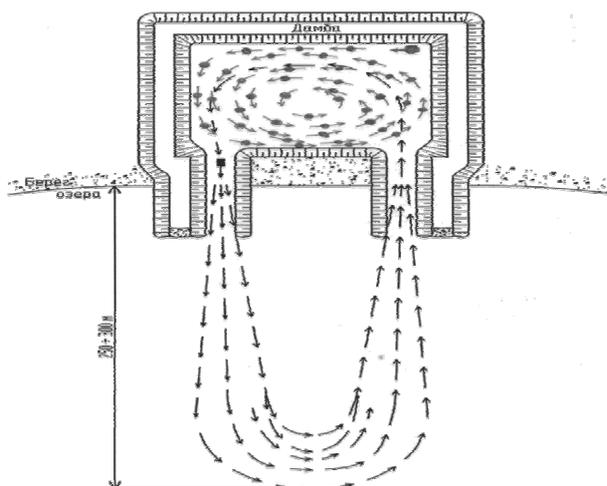


Рис. 1. Схема водоёма-спутника глубиной 7 м, построенного на берегу озера заморного типа, в котором устанавливаются турбоаэраторы для подачи в озеро потока проаэрированной воды (в канале – мощностью 3–4 кВт, внутри водоёма – мощностью 0,5–0,8 кВт)

На рис. 2 изображены основные варианты производственных схем стационарных и сезонных мелиоративных устройств по привлечению рыбы на поток, её отлову либо сохранению в зимний подлёдный период, когда в воде озера возникает дефицит кислорода [23].

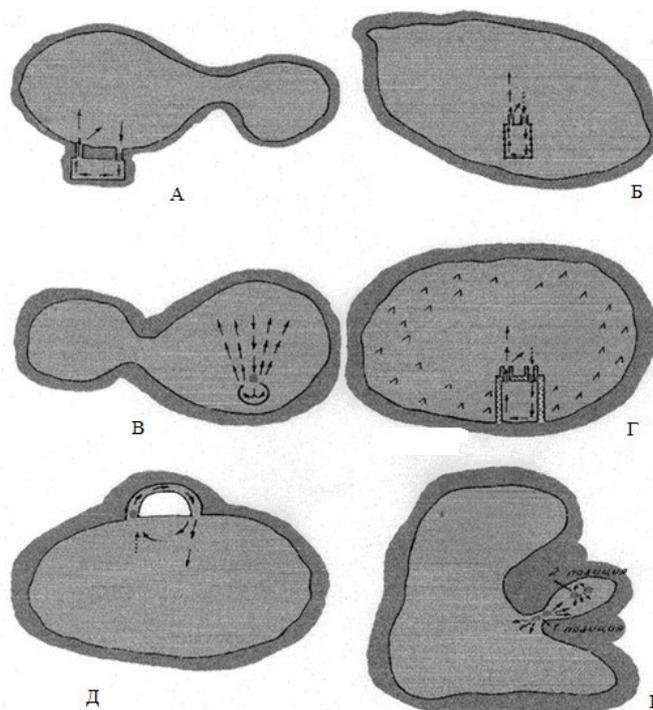


Рис. 2. Варианты схем установки аэрационной техники зимой на озерах:

- А – схема установки турбоаэратора в водоёме-спутнике глубиной 7 м;  
 Б – схема установки турбоаэратора на участке озера, огороженном армированной полиэтиленовой плёнкой на опорах; В – схема установки турбоаэратора и экрана-отражателя потока из армированной плёнки;  
 Г – схема применения турбоаэратора в водоёме-спутнике из насыпного гранта, взятого внутри – с площади дна; Д – схема установки турбоаэратора в обводном канале, построенном на берегу озера; Е – схема установки двух турбоаэраторов: 1 – вариант направленного потока на крутой берег; 2 – вариант потока на две группы ловушек

Новым и перспективным мелиоративным воздействием на биоту озер заморного типа с наличием отложений сапропелевого ила являются научно обоснованные разработки по активному рыхлению 20–30-сантиметрового слоя донных отложений [35, 36], благодаря чему происходит активная миграция минеральных и органических веществ, многими столетиями аккумулируемых илами. Миграция обогащает воду биогенами, вызывает «взрывное» развитие зелёных водорослей, которые активизируют жизнедеятельность зоопланктонных сообществ, и повышает кормность водоёма.

В настоящее время, благодаря данным междисциплинарных исследований по гидрохимии, биогеохимии, микробиологии, биохимии, гидробиологии, ихтиологии и других наук, объективно установлено, что процессы «рециклинга» и «микробной петли» [37] в системе вода – донные осадки [38, 39] озер создают устойчивое развитие биопродукционного процесса [40] в соответствии со свойствами явления сестайнинга [41]. Процессы кругооборота органического вещества в озерах с ростом продуктивности увеличиваются и ускоряются [39, 42], позволяя включить в естественную систему дозированные мелиоративные механизмы, благодаря чему можно добиться самоподдержания продукционной системы на оптимальном уровне для рыбоводного процесса.

Наш мониторинг большой группы озёр заморного типа Курганской, Челябинской и Тюменской областей, эксплуатируемых по рекомендуемой технологии, свидетельствует о реальном повышении естественной самовозобновляемой кормовой базы и росте уловов товарной рыбы [43, 44] за счет мелиорации иловых отложений и аэрации воды зимой. Например, рыбхоз «Балык» Кунашакского района Челябинской области, благодаря рыхлению и аэрации озер, стал стабильно выращивать в них крупную товарную рыбу (по 180–250 кг/га) методами двух- и трехлетнего нагула, чего прежде осуществить не удавалось.

Технология двух-, трехкратного рыхления ила в период с июля по сентябрь несложна. Наиболее эффективен вариант движения рыхлителя ила в открытой части озера, т. е. за кромкой береговой полосы тростника, камыша, рогоза (рис. 3).

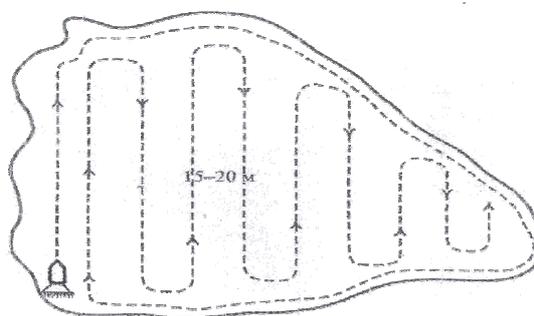


Рис. 3. Схема движения агрегата-рыхлителя ила на озере

Под воздействием рыхления происходит миграция минеральных и органических веществ из донных отложений в водную среду, пополняющая её биогенами [38, 39], включая хлорофилл [42], который может использоваться в пищу планктоноядных рыб – белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix*.

Мониторинг данных практики становления и развития пастбищного рыбоводства в Зауралье [44] позволил обосновать интегральный показатель рыбопродуктивности озера – **актуальный бонитет**. Его объективное определение дает возможность проведения комплексной мелиорации озера в соответствии с расчетом **потенциального бонитета** на основе биопродукционного процесса. Для определения актуального бонитета озера составлена бонитировочная 100-балльная шкала [43], благодаря которой оцениваются фактические эколого-рыбохозяйственные показатели исследуемого озера. Затем на этой основе рассчитывается балльный класс современного бонитета водоема и разрабатываются пути мелиоративно-рыбоводного преобразования озера. Базисом для прогрессивной практики являются итоги определения бонитета озера. На его основе осуществляют необходимые мероприятия по мелиорации экосистемы озера и комплекс

рыбоводных работ, завершающихся быстрым и экономичным отловом выращенной рыбы [45]. Именно такой последовательности при внедрении научных разработок придерживаются крупные рыбхозы. У мелких предприятий по выращиванию озерной рыбы комплексный системный подход отсутствует, следовательно, и итоговые показатели существенно меньше, чем в крупных районных рыбхозах региона Зауралья. Однако мелкие предприятия, благодаря своей численности, позволяют максимально использовать имеющиеся водные ресурсы территории.

### Заключение

Практические действия по преобразованию экосистем мелководных гиперэвтрофных озер устраняют их заморность в подледном режиме, но способствуют сохранению и эффективному использованию самовозобновляемой кормовой базы, влияют на рост вселяемой молоди поликультуры быстрорастущих объектов товарного рыбоводства, позволяют выращивать на порядок больше ценной рыбы по сравнению с традиционным промыслом местной тугорослой рыбы. Интенсивное использование природно-ресурсного потенциала озер заморного типа Зауралья и всей Западно-Сибирской равнины, безусловно, положительно отразится на производственных показателях российской аквакультуры. В этой связи возрастает роль региональных управленческих структур, реально вовлекающих пользователей местных водоёмов в организационно-производственную деятельность по созданию кластерного рыбоводства как способа повышения производства «экологически безопасной» рыбной продукции в крупных промышленных масштабах.

Разработки зональной рыбохозяйственной науки, включая вузовские рыбоводно-мелиоративные технологии товарного рыбоводства, послужили основой для принятия в 2015 г. администрациями Челябинской, Курганской, Тюменской областей Уральского региона перспективных 5–10-летних программ и планов развития рыбного хозяйства.

Энергичная работа по развитию рыбоводных предприятий разных форм собственности и разной мощности соответствует качественному, экологически устойчивому использованию управляемых человеком «голубых акваторий», которыми Природа одарила ландшафт от Урала до Енисея.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Boiko E. G.* Stateagrian University of Northtrans-Uralin the project "Tuning environmental competences in Russian fishery education for sustainable development" / E. G. Boiko, E. C. Petrachuc, D. Spulber // *Tuning environmental competences in Russian fishery education for sustainable development* / Ed. by A. Figus, Th. Potempa, S. Shibaev, Tempus, Tuna. European Commission (Eurilink. Kaliningrad, 2016). P. 147–154.
2. *Селюков А. Г.* Подготовка ихтиологов-рыбоводов и современные направления развития ихтиологии в Тюменском государственном университете / А. Г. Селюков, С.Н. Гашев // *Проблемы и перспективы развития рыбоводства на Урале: материалы науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию создания Аракульского рыбоводного завода и развитию товарного сиговодства в Челябинской области (26–27 сентября 2013 г., г. Касли)*. Челябинск, 2013. С. 123–127.
3. *Бойко Е. Г.* Опыт подготовки ихтиологов-рыбоводов в Государственном аграрном университете Северного Зауралья путём интеграции образования и науки / Е. Г. Бойко // *Проблемы и перспективы развития рыбоводства на Урале: материалы науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию создания Аракульского рыбоводного завода и развитию товарного сиговодства в Челябинской области (26–27 сентября 2013 г., г. Касли)*. Челябинск, 2013. С. 127–130.
4. *Алешина О. А.* Зооиндикаторы в системе регионального экологического мониторинга Тюменской области: методика использования / О. А. Алешина, С. Н. Гашев, М. Ю. Гордеева, А. В. Ермолаева, А. Ю. Левых, В. В. Плеханова, А. В. Соромотин, В. А. Столбов, А. В. Толстикова, Д. В. Усламин. Тюмень, Изд-во ТГУ, 2015. 132 с.
5. *Селюков А. Г.* Слабые взаимодействия и рогомеостаз живых систем (прикладной аспект) / А. Г. Селюков, А. И. Солодилов, В. П. Елькин. Тюмень: Изд-во ТГУ, 2008. 234 с.
6. *Мухачев И. С.* Системы инновационных технологий товарного рыбоводства на юге Тюменской области / И. С. Мухачев, Е. Г. Бойко, Н. В. Янкова, Е. С. Петрачук // *Аграрный вестн. Урала*. 2010. № 8 (74). С. 55–58.
7. *Доманицкий А. П.* Реки и озера Советского Союза / А. П. Доманицкий, Р. Г. Дубровина, А. И. Исаева. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 104 с.
8. *Ядренкина Е. Н.* Структурно-функциональная организация рыбного населения в заморных озерах Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Е. Н. Ядренкина. Томск: ТГУ, 2011. 41 с.
9. *Mukhachev I. S.* A review of the production of cultivated whitefishes (*Coregonus* spp.) in the Urals and West Siberia / I. S. Mukhachev, A. P. Gunin // *Arch. Hydrobiol. Spec. Iss.: Adv. Limnol.* 57, *Biol. Management of Coregonid Fishes*. 1999. P. 171–181.

10. Козлов О. В. Промысловая гидробиология беспозвоночных лимнобионтов юга Западной Сибири / О. В. Козлов // Водные ресурсы и ландшафтно-усадебная урбанизация территорий России в XXI веке: сб. докл. XVII Междунар. науч.-практ. конф. Тюмень, 2015. Т. 1. С. 198–203.
11. Визер Л. С. Зоопланктон Чиняхинского плёса озера Чаны / Л. С. Визер // Вестн. рыбохоз. науки. 2015. Т. 2. № (5). С. 20–26.
12. Иоганзен Б. Г. Вопросы экологии водоёмов и интенсификации рыбного хозяйства Сибири / Б. Г. Иоганзен, А. П. Петелина. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1986. 132 с.
13. Фолитарек С. С. Теоретические основы биотехнии и обзор работ Карасукской биотехнической станции / С. С. Фолитарек // Биотехния. Теоретические основы и практические работы в Сибири. Новосибирск: СО АН СССР, 1980. Вып. 37. С. 8–84.
14. Поползин А. Г. Малые озера юга Западно-Сибирской низменности и их хозяйственное значение / А. Г. Поползин // Водные ресурсы Западной Сибири. Новосибирск: СО АН СССР, 1964. С. 80–85.
15. Кудерский Л. А. Рыбное хозяйство внутренних водоёмов России: нагульное рыбоводство / Л. А. Кудерский // Обзор. информ. ВНИЭРХ. Аквакультура. 1998. Вып. 1. 76 с.
16. Юхнева В. С. Заморные явления в озерах и меры их предупреждения / В. С. Юхнева // Отчет. сес. учен. совета ГосНИОРХ по итогам работы в 1968 году: тез. докл. Л.: ГОСНИОРХ, 1969. С. 94–96.
17. Юхнева В. С. Донные отложения и кислородный режим озер / В. С. Юхнева, В. И. Уварова // Тез. докл. к науч.-практ. конф. СибрыбНИИпроект по развитию Тюменского рыбохозяйственного комплекса. Тюмень, 1975. С. 106–107.
18. Агрегат для взмучивания и аэрации донных отложений Н19-ИБА. Техника для рыбоводства. Справочник / под ред. А. И. Литвиненко. Тюмень: Госрыбцентр, 2010. С. 95–96.
19. Слинкин Н. П. Опыт биологической мелиорации озер, зарыбленных сиговыми рыбами / Н. П. Слинкин, В. Н. Новокшенов, С. А. Пирожков, Г. М. Быков // Третье Всесоюз. совещ. по биологии и биотехнике разведения сиговых рыб: тез. докл. Тюмень, 1985. С. 155–158.
20. Быков Г. М. Опыт рыбохозяйственного использования озера Андреевского в процессе изменения его экологического режима / Г. М. Быков, И. С. Мухачев // Экологические проблемы рекультивации озер заморного типа: сб. науч. ст. Тюмень: ТюмГУ, 1994. С. 178–188.
21. Насыров Г. Органическое вещество и микрофлора углубляемого озера Андреевского / Г. Насыров // Экологические проблемы рекультивации озер заморного типа: сб. науч. ст. Тюмень: ТюмГУ, 1994. С. 43–58.
22. А. с. СССР № 1395240. Способ определения оптимальной для разведения рыбы глубины естественного водоёма при проведении в нём мелиоративных дноуглубительных работ / Г. Насыров, И. С. Мухачев; опубл. 15.01.1988.
23. Мухачев И. С. Новые подходы к развитию товарного рыбоводства в Зауралье / И. С. Мухачев, Н. П. Слинкин, Н. Б. Чудинов // Рыбное хозяйство. 2006. № 3. С. 59–63.
24. Мухачев И. С. Инновации в пастбищном рыбоводстве Зауралья / И. С. Мухачев // Aquaculture in Central and Eastern Europe: the II Assembly NACEE and Workshop on the Role of Aquaculture in Rural Development (Chisinau, October 17–19, 2011). Kishinev, 2011. P. 189–192.
25. Пат. РФ № 2286672. Способ аэрации воды, концентрации и лова рыбы / Слинкин Н. П., Мухачев И. С., Туруханских Н. А.; опубл. 10.11.2006.
26. Пат. РФ № 2287267. Устройство для лова рыбы / Слинкин Н. П., Мухачев И. С.; опубл. 20.11.2006.
27. Пат. РФ № 2294635. Способ аэрации воды, концентрации и лова рыбы / Слинкин Н. П., Мухачев И. С.; опубл. 10.03.2007.
28. Пат. РФ № 2297139. Способ лова рыбы / Мухачев И. С., Слинкин Н. П.; опубл. 20.04.2007.
29. Пат. РФ № 2333313. Устройство для лова рыбы с применением донного водоспуска / Слинкин Н. П., Мухачев И. С.; опубл. 10.09.2008.
30. Пат. РФ № 2268588. Способ выращивания пеляди в заморных озерах / Мухачев И. С., Слинкин Н. П.; опубл., 27.01.2006.
31. Пат. РФ № 58294. Устройство для выращивания рыбы / Мухачев И. С., Слинкин Н. П.; опубл. 27.11.2006.
32. Пат. РФ № 2393668. Способ создания маточного стада и базы сбора икры пеляди / Слинкин Н. П., Мухачев И. С., Рождественский М. И.; опубл. 10.07.2010.
33. Пат. РФ № 2460285. Способ выращивания рыбы в заморных озерах / Слинкин Н. П., Мухачев И. С.; опубл. 10.09.2012.
34. Пат. РФ № 2316956. Способ воспроизводства и выращивания карпа в заморных озерах / Слинкин Н. П., Мухачев И. С.; опубл. 20.02.2008.
35. Пат. РФ № 2221104. Устройство для рыхления донных отложений / Мухачев И. С., Слинкин Н. П.; опубл. 10.01.2004.
36. Пат. РФ № 118322. Устройство для рыхления донных отложений / Слинкин Н. П., Мухачев И. С.; опубл. 20.07.2012.
37. Копылов А. И. Микробная «петля» в планктонных сообществах морских и пресноводных экосистем / А. И. Копылов, Д. Б. Косолапов. Ижевск: КнигоГрад, 2011. 332 с.

38. Мартынова М. В. Азот и фосфор в донных отложениях озёр и водохранилищ / М. В. Мартынова. М.: Наука, 1984. 160 с.
39. Мизандронцев И. Б. Химические процессы в донных отложениях водоёмов / И. Б. Мизандронцев. Новосибирск: Наука, 1990. 175 с.
40. Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем / А. Ф. Алимов. СПб.: Наука, 2001. 175 с.
41. Миркин Б. М. Сценарий перехода к устойчивому развитию / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова // Экология и жизнь. 2002. № 5. С. 31–38.
42. Сигарева Л. Е. Хлорофилл в донных отложениях волжских водоёмов. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2012. 217 с.
43. Мухачев И. С. Озерное товарное рыбоводство / И. С. Мухачев. СПб.: Лань, 2013. 400 с.
44. Мухачев И. С. Рекомендации по развитию товарного рыбоводства Челябинской области // Проблемы и перспективы развития рыбоводства на Урале / И. С. Мухачев // Материалы науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию создания Аракульского рыбоводного завода и развитию товарного сиговодства в Челябинской области (26–27 сентября 2013 г., г. Касли). Челябинск, 2013. Р. 97–108.
45. Слинкин Н. П. Новые методы интенсификации озерного рыбоводства и рыболовства / Н. П. Слинкин. Тюмень: ТГСХА, 2009. 151 с.

Статья поступила в редакцию 18.03.2016

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Мухачёв Игорь Семёнович** – Россия, 625003, Тюмень; Тюменский государственный университет; д-р биол. наук, профессор; профессор кафедры «Зоологии эволюционной экологии животных»; Fishmis@mail.ru.

**Пономарёв Сергей Владимирович** – Россия, 414014, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; д-р биол. наук, профессор; зав. кафедрой «Аквакультура и водные биоресурсы»; kafavb@yandex.ru.

**Фёдоровых Юлия Викторовна** – 414056, Россия, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. с.-х. наук; доцент кафедры «Аквакультура и водные биоресурсы»; jaqua@yandex.ru.

**Баканёва Юлия Михайловна** – 414056, Россия, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. с.-х. наук; доцент кафедры «Аквакультура и водные биоресурсы»; kafavb@yandex.ru.



*I. S. Mukhachev, S. V. Ponomarev, Yu. V. Fedorovykh, Yu. M. Bakaneva*

#### ECOLOGICAL AND FISHERY SUSTAINABILITY OF THE LAKES OF ZAIRALYE

**Abstract.** One of the original areas of practice for fisheries, which involved specialists of Tyumen universities, is the ecological and fisheries reclamation of the natural lakes of low-oxygen type, predominant in the landscape of Western Siberia. In 60-ies of the last century for the first time before the fishery managers of the region there was given a task of developing the effective methods of involving self-renewable forage base of the low-oxygen lakes for production of the valuable food fish, as the native ichthyofauna of these water bodies due to specific environmental conditions is slow-growing and of low value, but the total catches make up only 15–35 kg/ha per year. Taking into account the natural principles of functioning in nature the springs with water intensely saturated with oxygen, which become a place for wintering, "wintering holes" for fish of different species and all age groups, the experts proposed the variants of technical reclamation schemes, providing a safe wintering of fish, grown in the lakes of low-oxygen type. The practical steps for the

transformation of the ecosystems of the shallow hypereutrophic lakes allow eliminating their oxygen level in ice mode, promote to the conservation and efficient use of self-renewable forage base, positively influence the growth of the installed juvenile fish polyculture of fast-growing commercial fish species, help grow more valuable fish compared with the traditional commercial fishery of the local slow-growing fish. The intensive use of the natural resources of the lakes of low-oxygen type of the Urals and the Western Siberian plain would have a positive effect on the performance of the Russian aquaculture. In this regard, the role of regional management structures, involving real users of the local water bodies in the organizational and industrial activity in the creation of cluster farming as a way of enhancing the production of "environmentally friendly" fish production in large industrial scale, increases.

**Key words:** fisheries irrigation, reclamation of lakes, aeration, loosening the mud, lake-satellite, rehabilitated, fish productivity, fish farming cluster.

#### REFERENCES

1. Boiko E. G., Petrachuk E. C., Spulber D. *Stateagrarian University of Northtrans-Uralin the project "Tuning environmental competences in Russian fishery education for sustainable development". Tuning environmental competences in Russian fishery education for sustainable development*. Ed. by Alessandro Figus, Thomas Potempa, Sergey Shibaev, Tempus, Tuna. European Commission (Eurilink. Kaliningrad, 2016). P. 147–154.
2. Seliukov A. G., Gashev S. N. Podgotovka ikhtiologov-rybovodov i sovremennye napravleniia razvitiia ikhtiologii v Tiimenskom gosudarstvennom universitete [Training of fish biologists-breeders and present trends of development of fish fauna in the Tyumen State University]. *Problemy i perspektivy razvitiia rybovodstva na Urale. Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 100-letiiu sozdaniia Arakul'skogo rybovodnogo zavoda i razvitiuu tovarnogo sigovodstva v Cheliabinskoi oblasti (26–27 sentiabria 2013 g., g. Kasli)*. Chelyabinsk, 2013. P. 123–127.
3. Boiko E. G. Opyt podgotovki ikhtiologov-rybovodov v Gosudarstvennom agrarnom universitete Severnogo Zaural'ia putem integratsii obrazovaniia i nauki [Experience of training fish biologists-breeders in the State Agrarian University in the Northern Urals by means of integration of education and science]. *Problemy i perspektivy razvitiia rybovodstva na Urale. Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 100-letiiu sozdaniia Arakul'skogo rybovodnogo zavoda i razvitiuu tovarnogo sigovodstva v Cheliabinskoi oblasti (26–27 sentiabria 2013 g., g. Kasli)*. Chelyabinsk, 2013. P. 127–130.
4. Aleshina O. A., Gashev S. N., Gordeeva M. Iu., Ermolaeva A. V., Levykh A. Iu., Plekhanova V. V., Somotin A. V., Stolbov V. A., Tolstikov A. V., Uslamin D. V. *Zooindikatory v sisteme regional'nogo ekologicheskogo monitoringa Tiimenskoi oblasti: metodika ispol'zovaniia* [Zooindicators in the system of the regional ecological monitoring in the Tyumen region: methods of application]. Tyumen, Izd-vo Tiimenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2015. 132 p.
5. Seliukov A. G., Solodilov A. I., El'kin V. P. *Slabye vzaimodeistviia i regomeostaz zhivykh sistem (prikladnoi aspekt)* [Weak interactions and rehomeostasis of living systems (applied aspect)]. Tyumen, Izd-vo Tiimenskogo gosuniversiteta. 2008. 234 p.
6. Mukhachev I. S., Boiko E. G., Iankova N. V., Petrachuk E. S. Sistemy innovatsionnykh tekhnologii tovarnogo rybovodstva na iuge Tiimenskoi oblasti [Systems of innovative technologies of commercial fisheries in the South of the Tyumen region]. *Agrarnyi vestnik Urala*, 2010, no. 8 (74), pp. 55–58.
7. Domanitskii A. P., Dubrovina R. G., Isaeva A. I. *Reki i ozera Sovetskogo Soiuza* [Rivers and lakes in the USSR]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1971. 104 p.
8. Iadrenkina E. N. *Strukturno-funktional'naiia organizatsiia rybnogo naseleniia v zamornykh ozerakh Zapadnoi Sibiri. Avtoreferat dis. ... dok. biol. nauk* [Structural and functional development of fish population in low-oxygen lakes in the Western Siberia. Abstract of dis. doc. biol. sci.]. Tomsk, TGU, 2011. 41 p.
9. Mukhachev I. S., Gunin A. P. A review of the production of cultivated whitefishes (*Coregonus* spp.) in the Urals and West Siberia. *Arch. Hydrobiol. Spec. Iss.: Adv. Limnol. 57, Biology and Management of Coregonid Fishes*, 1999, pp. 171–181.
10. Kozlov O. V. Promyslovaia gidrobiologiya bespozvonochnykh limnobiontov iuga Zapadnoi Sibiri [Commercial hydrobiology of invertebrates limnobionts in the South of the Western Siberia]. *Vodnye resursy i landshaftno-usadebnaia urbanizatsiia territorii Rossii v XXI veke. Sbornik dokladov XVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Tyumen, 2015. Vol. 1, pp. 198–203.
11. Vizer L. S. Zooplankton Chiniakhinskogo plesa ozera Chany [Zooplankton of the Chinyahinskiy place of the Chana lake]. *Vestnik rybokhoziaistvennoi nauki*, 2015, vol. 2, no. 5, pp. 20–26.
12. Ioganzen B. G., Petelina A. P. *Voprosy ekologii vodoemov i intensifikatsii rybnogo khoziaistva Sibiri* [Issues of ecology of water bodies and intensification of fish farming in Siberia]. Tomsk, Izd-vo Tomskogo universiteta, 1986. 132 p.
13. Folitarek S. S. Teoreticheskie osnovy biotekhnii i obzor rabot Karasukskoi biotekhnicheskoi stantsii [Theoretical bases of biotechnology and review of the works of the Karasukskaya bitechnical station]. *Biotekhniiia. Teoreticheskie osnovy i prakticheskie raboty v Sibiri*. Novosibirsk, SO AN SSSR, 1980. Iss. 37, pp. 8–84.

14. Popolzin A. G. Malye ozera iuga Zapadno-Sibirskoi nizmennosti i ikh khoziaistvennoe znachenie [Small lakes of the South Western-Siberian Lowland and their farming value]. *Vodnye resursy Zapadnoi Sibiri*. Novosibirsk, SO AN SSSR, 1964. P. 80–85.
15. Kuderskii L. A. Rybnoe khoziaistvo vnutrennikh vodoemov Rossii: nagul'noe rybovodstvo [Fisheries of inland water bodies in Russia: feeding fisheries]. *Obzornaia informatsiia VNIERKh. Akvakultura*, 1998, iss. 1. 76 p.
16. Iukhneva V. S. Zamornye iavleniia v ozerakh i mery ikh preduprezhdeniia [Fish kill phenomena in the lakes and measures of their prevention]. *Otchetnaia sessiia uchenogo Soveta GosNIORKh po itogam raboty v 1968 godu: Tezisy dokladov*. Leningrad, 1969. P. 94–96.
17. Iukhneva V. S., Uvarova V. I. Donnye otlozheniia i kislorodnyi rezhim ozer [Bottom sediments and oxygen regime of the lakes]. *Tezisy dokladov k nauchno-prakticheskoi konferentsii SibrybNIiproekt po razvitiuu Tiimenskogo rybokhoziaistvennogo kompleksa*. Tyumen, 1975. P. 106–107.
18. *Agregat dlia vmuchivaniia i aeratsii donnykh otlozhenii N19-IBA. Tekhnika dlia rybovodstva. Spravochnik* [Apparatus for spreading and aeration of sediments H19-IBA. Fisheries engineering. Reference]. Pod redaktsiei A. I. Litvinenko. Tyumen, Gosrybtsentr, 2010. P. 95–96.
19. Slinkin N. P., Novokshonov V. N., Pirozhkov S. A., Bykov G. M. Opyt biologicheskoi melioratsii ozer, zaryblennykh sigovymi rybami [Experience of biological melioration of the lakes, stocked with whitefish]. *Tret'e Vsesoiuznoe soveshchanie po biologii i biotekhnike razvedeniia sigovykh ryb: Tezisy dokladov*. Tyumen, 1985. P. 155–158.
20. Bykov G. M., Mukhachev I. S. Opyt rybokhoziaistvennogo ispol'zovaniia ozera Andreevskogo v protsesse izmeneniia ego ekologicheskogo rezhima [Experience of fisheries use of the Andreevskiy lake during changes in its ecological regime]. *Ekologicheskie problemy rekul'tivatsii ozer zamornogo tipa. Sbornik nauchnykh statei*. Tyumen, TiumGU, 1994. P. 178–188.
21. Nasyrov G. Organicheskoe veshchestvo i mikroflora uglubliaemogo ozera Andreevskogo [Organic substance and microflora of the deepening Andreevskiy lake]. *Ekologicheskie problemy rekul'tivatsii ozer zamornogo tipa. Sbornik nauchnykh statei*. Tyumen, TiumGU, 1994. P. 43–58.
22. Nasyrov G., Mukhachev I. S. *Sposob opredeleniia optimal'noi dlia razvedeniia ryby glubiny estestvennogo vodoema pri provedenii v nem meliorativnykh dnouglubitel'nykh rabot* [Way of determination of optimal for fish breeding depth of the natural water body during reclamation dredging works]. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR № 1395240; 15.01.1988.
23. Mukhachev I. S., Slinkin N. P., Chudinov N. B. Novye podkhody k razvitiuu tovarnogo rybovodstva v Zaural'e [New approaches to development of commercial fisheries in the Urals]. *Rybnoe khoziaistvo*, 2006, no. 3, pp. 59–63.
24. Mukhachev I. S. Innovatsii v pastbishchnom rybovodstve Zaural'ia [Innovations in stock fish breeding in the Urals]. *Aquaculture in Central and Eastern Europe: the II Assembly NACEE and Workshop on the Role of Aquaculture in Rural Development (Chisinau, October 17–19, 2011)*. Kishinev, 2011. P. 189–192.
25. Slinkin N. P., Mukhachev I. S., Turukhanskikh N. A. *Sposob aeratsii vody, kontsentratsii i lova ryby* [Way of water aeration, concentration and fish catches]. Patent RF, no. 2286672, 10.11.2006.
26. Slinkin N. P., Mukhachev I. S. *Ustroistvo dlia lova ryby* [Apparatus for fish catching]. Patent RF, no. 2287267, 20.11.2006.
27. Slinkin N. P., Mukhachev I. S. *Sposob aeratsii vody, kontsentratsii i lova ryby* [Way of water aeration, concentration and fish catches]. Patent RF, no. 2294635, 10.03.2007.
28. Mukhachev I. S., Slinkin N. P. *Sposob lova ryby* [Way of fish catches]. Patent RF, no. 2297139, 20.04.2007.
29. Slinkin N. P., Mukhachev I. S. *Ustroistvo dlia lova ryby s primeneniem donnogo vodospuska* [Apparatus for fish catches using bottom drainage outlet]. Patent RF, no. 2333313, 10.09.2008.
30. Mukhachev I. S., Slinkin N. P. *Sposob vyrashchivaniia peliadi v zamornykh ozerakh* [Way of breeding peled in the low-oxygen lakes]. Patent RF, no. № 2268588, 27.01.2006.
31. Mukhachev I. S., Slinkin N. P. *Ustroistvo dlia vyrashchivaniia ryby* [Apparatus for fish breeding]. Patent RF, no. 58294, 27.11.2006.
32. Slinkin N. P., Mukhachev I. S., Rozhdestvenskii M. I., Slinkin A. A. *Sposob sozdaniia matochnogo stada i bazy sbora ikry peliadi* [Way of breeding broodstock and base of peled roe collection]. Patent RF, no. 2393668, 10.07.2010.
33. Slinkin N. P., Mukhachev I. S. *Sposob vyrashchivaniia ryby v zamornykh ozerakh* [Way of fish breeding in the low-oxygen lakes]. Patent RF, no. 2460285, 10.09.2012.
34. Slinkin N. P., Mukhachev I. S. *Sposob vosproizvodstva i vyrashchivaniia karpa v zamornykh ozerakh* [Way of reproduction and breeding carp in the low-oxygen lakes]. Patent na izobretenie RF no. 2316956, 20.02.2008.
35. Mukhachev I. S., Slinkin N. P. *Ustroistvo dlia rykhleniia donnykh otlozhenii* [Apparatus for stirring up the bottom sediments]. Patent RF, no. 2221104, 10.01.2004.
36. Slinkin N. P., Mukhachev I. S. *Ustroistvo dlia rykhleniia donnykh otlozhenii* [Apparatus for stirring up the bottom sediments]. Patent RF, no. 118322, 20.07.2012.

37. Kopylov A. I., Kosolapov D. B. *Mikrobnaya «petlia» v planktonnykh soobshchestvakh morskikh i presnovodnykh ekosistem* [Microbial "loop" in plankton communities of sea and freshwater ecosystems]. Izhevsk, KnigoGrad Publ., 2011. 332 p.
38. Martynova M. V. *Azot i fosfor v donnykh otlozheniakh ozer i vodokhranilishch* [Nitrogen and phosphorus in bottom sediments of lakes and water reservoirs]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 160 p.
39. Mizandrontsev I. B. *Khimicheskie protsessy v donnykh otlozheniakh vodoemov* [Chemical processes in bottom sediments of the water bodies]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1990. 175 p.
40. Alimov A. F. *Elementy teorii funkcionirovaniia vodnykh ekosistem* [Elements of the theory of water ecosystem functioning]. Saint-Petersburg, Nauka Publ., 2001. 175 p.
41. Mirkin B. M., Naumova L. G. Stsenarii perekhoda k ustoichivomu razvitiuu [Plan of moving to stable development]. *Ekologiya i zhizn'*, 2002, no. 5, pp. 31–38.
42. Sigareva L. E. *Khlorofil v donnykh otlozheniakh volzhskikh vodoemov* [Chlorophyll in bottom sediments of the Volga water bodies]. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2012. 217 p.
43. Mukhachev I. S. *Ozernoe tovarnoe rybovodstvo* [Lake commercial fisheries]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2013. 400 p.
44. Mukhachev I. S. Rekomendatsii po razvitiuu tovarnogo rybovodstva Cheliabinskoi oblasti [Recommendations on development of commercial fishery in the Chelyabinsk region]. *Problemy i perspektivy razvitiia rybovodstva na Urale. Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 100-letiiu sozdaniia Arakul'skogo rybovodnogo zavoda i razvitiuu tovarnogo sigovodstva v Cheliabinskoi oblasti (26–27 sentyabrya 2013 g., g. Kasli)*. Chelyabinsk, 2013. P. 97–108.
45. Slinkin N. P. *Novye metody intensivifikatsii ozernogo rybovodstva i rybolovstva* [New methods of intensification of lake fishery and fishing]. Tyumen, TGSKhA, 2009. 151 p.

The article submitted to the editors 18.03.2016

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Mukhachev Igor Semenovich** – Russia, 625003, Tyumen; Tyumen State University; Doctor of Biology, Professor; Professor of the Department "Zoology and Evolutionary Animals' Ecology"; Fishmis@mail.ru.

**Ponomarev Sergey Vladimirovich** – Russia, 414014, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Biology, Professor; Head of the Department "Aquaculture and Water Bioresources"; kafavb@yandex.ru.

**Fedorovskaya Yulia Viktorovna** – 414056, Russia, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Agricultural Sciences; Assistant Professor of the Department "Aquaculture and Water Bioresources"; jaqua@yandex.ru.

**Bakaneva Yulia Mikhailovna** – 414056, Russia, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Astrakhan State Technical University; Candidate of Agricultural Sciences; Assistant Professor of the Department "Aquaculture and Water Bioresources"; kafavb@yandex.ru.

