

Введение

Рыболовство – это одна из древнейших форм хозяйственной деятельности человека. Остатки различных рыболовных принадлежностей обнаруживаются в археологических находках возрастом более 5000 лет.

Продукты из рыбного сырья всегда являлись основой питания народов, населяющих побережья. По энергетической и биологической ценности белки рыб не уступают белкам мяса теплокровных животных и в то же время обладают хорошей перевариваемостью и усвояемостью организмом человека.

По данным Международной продовольственной организации (Food and Agriculture Organization – FAO), в 2018 г. во всем мире было произведено порядка 179 млн т рыбы, из которых 82 млн т были продукцией аквакультуры. Общий объем ее первоначальных продаж в денежном выражении составил 401 млрд долл. США. Из этого количества 156 млн т, что эквивалентно 20,5 кг на душу населения в год, было использовано для потребления человеком.

Рыбный промысел был традиционно одним из важнейших жизнеобеспечивающих видов деятельности в различных регионах мира, в том числе в странах Северной Европы. При ограниченных возможностях выращивания сельскохозяйственной продукции по причине достаточно сурового климата и малоплодородных почв, что особенно характерно для Скандинавских стран, Кольского полуострова, региона Белого моря и всего побережья Северного ледовитого океана, биологические ресурсы морей и внутренних пресноводных водоемов всегда представляли и представляют значительную ценность. Освоение бескрайних пространств Сибири и современного Дальнего востока, начатое российскими промышленниками еще в XV в., осуществлялось в основном по рекам – Северной Двине, Оби, Иртышу, Таболу, Енисею, Лене и другим, которые служили незаменимыми транспортными водными путями. Однако в тяжелейших климатических условиях Западной и Восточной Сибири речное рыболовство, осуществляемое круглогодично, стало важнейшим источником пищи, что во многом определило успех освоения территорий. Пашенное земледелие началось развиваться в южных районах Сибири в XVIII в. и значительно ускорилось только после отмены крепостного права в 1861 г. в связи с государственной поддержкой переселения в восточные области страны. В общей

сложности с 1861 по 1900 гг. за Урал переселилось около 2 млн человек. И в этот период промышленное рыболовство на Сибирских реках и озерах сыграло свою достаточно значимую роль для закрепления населения и дальнейшего освоения выделяемых правительством земельных угодий.

Однако успех рыболовства, как известно, зависит от целого ряда факторов, среди которых организационные, технологические и сугубо природные. Необходимо знать расположение ареалов промысловых популяций рыб, сроки и районы их миграций и нереста. Представляется весьма важным правильное понимание степени и характера влияния различных экологических факторов и процессов на успех воспроизводства рыб, что может обеспечить, в том числе, прогнозирование их численности. Таким образом, для превращения рыболовства в одну из важных отраслей народного хозяйства требуются научные, причем междисциплинарные исследования. Современное промышленное рыболовство опирается на сведения, получаемые при оценке климата и его изменчивости, данные о динамике океанологических и гидрологических условий, а также на результаты широкого спектра гидробиологических исследований, связанных как непосредственно с изучением жизненного цикла конкретных промысловых видов рыб, так и с их кормовой базой.

Динамика промысловых популяций рыб – это результат взаимодействия ряда процессов: пополнения стада, роста и созревания рыб, убыли их от промысла и естественной смертности. Промысловое стадо большинства видов рыб состоит из нескольких поколений, численность которых зависит от их урожайности. Оно ежегодно формируется из оставшейся от промысла предыдущего года части популяции и пополняется группой рыб, достигших зрелости или товарного значения. В зависимости от урожайности и внешних факторов величина пополнения промыслового стада может испытывать ежегодные колебания и менять соотношение пополнения и остатка. Это особенно характерно для рыб с коротким жизненным циклом. Изменяется также и отношение вылова к запасу.

Для рационального рыболовства соответствие между интенсивностью промысла и величиной запаса определяется воспроизводительными возможностями популяции с учетом возможных колебаний, вызванных естественными причинами. Основная задача, которая ставится при оценке запаса и составлении прогноза улова – это определение соотношения пополнения к убыли в формирующемся стаде. По мере накопления материалов для решения этой

задачи устанавливаются новые факторы и закономерности. Формирование, или становление, промысловой ихтиофауны в эволюционном аспекте происходит в соответствии с физико-географическими и экологическими особенностями водоема, обеспечивающими оптимальные условия размножения и питания рыб.

В Российской Федерации основными организациями, осуществляющими научно-исследовательскую деятельность в сфере оценки природных условий, влияющих на успех воспроизводства промысловых рыб и других гидробионтов, оценки запасов биологических ресурсов и обосновании допустимых объемов их эксплуатации, являются следующие:

- Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО, Москва), официальный сайт: <http://vniro.ru>;

- Атлантический филиал ВНИРО – Атлантический институт рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО, Калининград), официальный сайт: <http://www.atlant.vniro.ru>;

- Полярный филиал ВНИРО – Полярный институт рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО, Мурманск), официальный сайт: <http://pinro.vniro.ru/ru>;

- Мурманский морской биологический институт (Мурманск), официальный сайт: <http://www.mmbi.info>;

- Санкт-Петербургский филиал ВНИРО (ГОСНИОРХ им. Л.С. Берга), официальный сайт: <http://www.vniro.ru/ru/filialy/sankt-peterburgskij-filial-fgbnu-vniro-gosniorkh-im-l-s-berga>;

- Азово-Черноморский филиал ВНИРО («АЗНИИРХ», Ростов-на-Дону), официальный сайт: <http://azniirkh.vniro.ru>;

- Керченский филиал (ЮгНИРО) научно-исследовательского института АЗНИИРХ, официальный сайт: <https://yugniro.github.io>;

- Тихоокеанский филиал ВНИРО (Владивосток), официальный сайт <http://tinro.vniro.ru>;

- Камчатский филиал ВНИРО (Петропавловск-Камчатский), официальный сайт: <http://kamniro.vniro.ru>.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) – головной институт рыбохозяйственной отрасли, координирующий выполнение планов и программ рыбохозяйственных научно-исследовательских работ и обеспечивающий эффективность работы всех рыбохозяйственных научных организаций Российской Федерации был основан 140 лет назад. История возникновения и становления ВНИРО – это история

развития отечественных рыбохозяйственных исследований в целом. Почти все современные научно-исследовательские институты рыбной отрасли в различные периоды времени действовали в качестве филиалов головного института ВНИРО. В самой идее учреждения института была заложена многопрофильность, комплексность и взаимосвязь морских рыбохозяйственных исследований – от изучения абиотических (физических, химических) и биотических (фито- и зоопланктон, трофические связи) условий среды обитания промысловых видов к оценке биологической и промысловой продуктивности водоемов, выявлению закономерностей распределения и воспроизводства гидробионтов, прогнозу допустимого улова, т. е. созданию основ рационального лова промысловых объектов, а также их обработки.

История ВНИРО начинается в 1881 г., когда была основана Соловецкая биологическая станция на Белом море. В 1899 г. Соловецкую биологическую станцию преобразовали в Мурманскую биологическую станцию. В 1929 г. Мурманская биологическая станция объединилась с Плавучим морским научным институтом, на базе которого был создан Государственный океанографический институт. В 1933 г. приказом Наркомснаба СССР был основан Всесоюзный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии путем слияния государственного океанографического института и Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства.

Если до Великой отечественной войны специалисты ВНИРО вместе с учеными бассейновых филиалов и морских станций изучали сырьевые ресурсы и среду обитания наших внутренних и окраинных морей, разрабатывали методические основы их рационального использования и новую технику для их промысла и обработки, то в послевоенные годы институт стал головным в области комплексного изучения ресурсов для океанического рыболовства, искусственного воспроизводства ценных объектов промысла, марикультуры, технологии переработки рыбного сырья.

В период начала активного развития океанического рыболовства, начиная с середины 1950-х гг., на основании анализа практики деятельности рыбохозяйственных научно-исследовательских подразделений, в подавляющем большинстве являвшихся филиалами и отделениями ВНИРО, они были реорганизованы в самостоятельные организации, работавшие в системе Минрыбпрома СССР, а затем – Минрыбхоза СССР.

Начало океаническому промыслу в нашей стране было положено в середине 1950-х гг. освоением ресурсов Норвежского и Северного морей Северного промыслового бассейна; Берингова моря и залива Аляска в Тихом океане. Ученые ВНИРО (П.А. Моисеев, Д.Е. Гершанович, Л.Г. Виноградов и др.) были инициаторами организации Берингоморских научно-промысловых экспедиций ВНИРО – ТИНРО, которые завершились в 1960-х гг. освоением нескольких миллионов тонн рыбы и беспозвоночных. В этой экспедиции был отработан комплексный подход к изучению новых районов промысла, поиску и обнаружению новых промысловых объектов. В середине же 1950-х гг. началось изучение и освоение ресурсов Северной Атлантики. Именно опыт этих пионеров поисковых и исследовательских работ позволил отечественному рыболовству в 1960–80-е гг. быть всегда в первой тройке наиболее развитых рыболовных стран.

В 1960–1980-е гг. активная экспедиционная деятельность ВНИРО совместно с бассейновыми институтами и поисковым флотом в водах открытой части Мирового океана, как правило, сопровождалась разработкой конкретных рекомендаций по освоению ресурсов, технологии их добычи и комплексной переработки. К 1990 г. в открытом океане были выловлены отечественным флотом многие миллионы тонн гидробионтов.

Выдающиеся биологические открытия в Мировом океане конца XX в. – «ставридный пояс» в южной части Тихого океана и «анчоусный» вдоль южной полярной фронтальной зоны – связаны с усилиями поисковиков и ученых, работавших в рамках единых отраслевых и комплексных целевых (КЦП) программ.

В этих морских экспедициях специалистами ВНИРО был собран уникальный материал по ихтиофауне Мирового океана, океаноэкологическому режиму промысловых районов. Сегодня хорошо известны фундаментальные работы ученых ВНИРО по систематике, ихтиогеографии, экологии рыб Мирового океана, по рыбам и беспозвоночным морей Арктики и Дальнего Востока. Неоспорим приоритет ученых ВНИРО в области изучения воспроизводительной способности рыб, в изучении ихтиопланктона, его видового состава, эколого-географической изменчивости, приспособительных особенностей, выживания и смертности икринок и личинок промысловых рыб. Значительная часть многих знаменитых коллекций ихтиофауны как в России, так и за рубежом, была собрана именно в эти годы, в том числе специалистами ВНИРО.

Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО) организован 28 марта 1949 г. на основании постановления Совета Министров СССР от 05 ноября 1948 г. как «Балтийский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии».

В ноябре 1948 г. вышло постановление Совета Министров СССР «О мероприятиях по развитию и укреплению рыбной промышленности Калининградской области в 1949–1950 гг.», которым предписывалось Министерству рыбной промышленности западных районов СССР создать в г. Калининграде «Балтийский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии».

Регулярные рыбохозяйственные исследования в Азово-Черноморском бассейне были начаты в конце 1920-х гг. Их выполняли сотрудники ихтиологической лаборатории в Керчи (1921 г.) и ихтиологических станций, расположенных в Краснодаре и в Ростове-на-Дону, а также в Херсоне (Украинско-Черноморская) и Батуми (Грузинская). Эти станции сыграли важную роль в становлении рыбохозяйственной науки. Историческое значение в развитии рыбохозяйственных исследований южных морей имела проведенная в эти годы Азовско-Черноморская научно-промысловая экспедиция, руководителем которой был Н.М. Книпович. Полученные в экспедиции результаты впервые позволили на основе комплексного изучения рыб и среды их обитания обозначить факторы, определяющие колебания численности промысловых объектов.

В конце 1932 г. на базе существующих станций создается Азово-Черноморский научно-исследовательский институт сырьевой базы рыбного хозяйства. Одно из его отделений находилось в г. Ростове-на-Дону. В 1933 г., в рамках реорганизации Азово-Черноморского института, на базе его ростовского отделения создается Дону-Кубанская научная рыбохозяйственная станция, которая в 1957 г. была реорганизована в Азовское отделение ВНИРО. В 1958 г. распоряжением Совета Министров СССР в г. Ростове-на-Дону на базе отделения ВНИРО был создан Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства (АзНИИРХ). С 2003 г. институт функционирует как федеральное государственное унитарное предприятие (ФГУП «АзНИИРХ»). В 2019 г. АзНИИРХ стал Азово-Черноморским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»).

История Тихоокеанского института рыбного хозяйства и океанографии началась с принятия в 1925 г. декрета о создании в г. Владивостоке Тихоокеанской научно-промысловой станции (ТОНС). Организация ТОНС была поручена известному ученому, профессору Константину Михайловичу Дерюгину. Вместе с ним у истоков института стояли Иван Федорович Правдин, Георгий Устинович Линдберг, Иван Гугович Закс, Василий Евгеньевич Розов, Елена Степановна Зинова и многие другие, чьи имена впоследствии стали широко известны в науке.

С созданием ТОНС на Дальнем Востоке начался небывалый по своей интенсивности период исследований дальневосточных морей. Станция быстро развивалась и в 1928 г. была преобразована в Тихоокеанский институт рыбного хозяйства (ТИРХ), а в 1934 г. институт был переименован в Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО).

В конце 1920-х годов наша страна добывала на Дальнем Востоке около 200 тыс. т рыбы. Ученые ТИНРО уже тогда доказали, что ресурсы рыболовства в данном регионе значительно превышают существующие объемы вылова. Но развитие рыбохозяйственной науки сдерживало прежде всего отсутствие научно-исследовательского флота. В 1929 г. – парусно-моторная шхуна «Россинанте» стала первым научно-исследовательским судном ТИНРО.

В связи с обширностью Дальневосточного региона и большим объемом задач в 1932 г. были созданы отделения института на Камчатке и Сахалине (с 1995 г. КамчатНИРО и СахНИРО), а в 1933 г. организовано отделение в Хабаровске, в 1959 г. Магаданское отделение.

В первой половине 1980-х гг. в ТИНРО сформировалась и была реализована концепция мониторинга сырьевой базы. Главной целью ее научного обеспечения стало рациональное и более эффективное использование основных промысловых видов. В соответствии с этим произошла перестройка в организации морских исследований и был взят курс на комплексные экспедиции. Отход от «объектного» планирования, переход на экосистемную основу в экспедиционных исследованиях – это совершенно новый уровень рыбохозяйственной науки.

Выявленные в процессе данных исследований в 80–90-х гг. изменения численности отдельных промысловых видов и популяций, а также структуры сообществ отразили крупномасштабные перестройки, происходящие в морских экосистемах дальневосточных

морей. Стремительно развиваются новые направления отраслевой региональной науки: краткосрочное прогнозирование промысловой обстановки, космические методы изучения океана.

В 1994 г. в составе института появилась еще одна структурная единица – Чукотское отделение.

В 1995 г. в состав института, теперь уже ТИНРО-Центра, вошло эффективно работающее подразделение – База исследовательского флота (БИФ). БИФ ТИНРО – это ежегодно три десятка экспедиций, материалы которых, благодаря экосистемному подходу при исследовании биоресурсов океана, позволяют вести полноценный мониторинг рыбопромысловых запасов и получать достоверные данные для обоснования прогнозов вылова на дальневосточном бассейне.

Время многое меняло в истории ТИНРО. Отделения на Сахалине, Камчатке и в Магадане окрепли и были преобразованы в самостоятельные институты, а ТИНРО – в Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр – ТИНРО-Центр. ТИНРО-Центр по сей день объединяет все дальневосточные рыбохозяйственные научные организации и координирует исследования на дальневосточном рыбопромысловом бассейне. Интеграция рыбохозяйственной науки в последние годы особенно стала актуальной. Следствием этого стало создание в 2000 г. единой дальневосточной рыбохозяйственной научной структуры – Ассоциации «Научно-техническое объединение ТИНРО».

За прошедшие годы в ТИНРО создан уникальный коллектив учёных, способный поддерживать первоклассный уровень выполняемых научных работ, постоянно наращивать свой творческий потенциал. Высококвалифицированные специалисты – золотой фонд и главное достояние института.

С 2019 г. институт вместе с другими научно-исследовательскими рыбохозяйственными организациями Росрыболовства в соответствии с Приказом министра сельского хозяйства Н. Патрушева был реорганизован и присоединен к системе ВНИРО в качестве филиала. Однако координация и проведение научно-исследовательских работ по-прежнему является важной частью работы ТИНРО. В новых условиях только увеличилась актуальность научного сотрудничества и обменом мнениями специалистов как с точки зрения изучения водных биоресурсов, так и с точки зрения научного обеспечения их рационального использования.

Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства (ГОСНИОРХ) за время своего

существования пережил неоднократные реорганизации и несколько переименований. В 1914 г. организована Лаборатория специалистов рыбного дела при Департаменте земледелия России. В 1917 г. на базе лаборатории образован Отдел рыбоводства и научно-промысловых исследований при Сельскохозяйственном ученом комитете Народного комиссариата земледелия. В 1922 г. отдел преобразован в Отдел прикладной ихтиологии и научно-промысловых исследований Государственного института опытной агрономии. В августе 1929 г. Отдел прикладной ихтиологии и научно-промысловых исследований Государственного института опытной агрономии преобразован в Ленинградский научно-исследовательский ихтиологический институт. В феврале 1932 г. институт переименован в Северный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства. В августе 1932 г. институт переименован во Всесоюзный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства. В 1952 г. по приказу Министерства рыбной промышленности СССР при Институте создается экспериментально-производственная база в пригороде Ленинграда «Ропша». В 1958 г. институт переименован в Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства (приказ Госплана РСФСР от 3 июня 1958 г.). В последующие годы исследования, выполнявшиеся специалистами ГосНИОРХ, были направлены на решение именно этой центральной задачи пресноводного рыбного хозяйства. Разрабатывались индустриальные методы ведения рыбного хозяйства, подразделявшиеся на два направления: рыбоводство на воде с естественными температурами и на подогретых водах тепловых и атомных электростанций. Научные основы этих методов были созданы в ГосНИОРХ. Они включали множество аспектов: поиски объектов рыбоводства для новых условий; разработку соответствующих кормов; определение нормативов условий содержания рыб; создание маточных стад; разработку методов выращивания посадочного материала и товарной рыбы.

В 2002 г. ГосНИОРХ получил статус Федерального государственного научного учреждения. С июля 2011 г. – федеральное государственное бюджетное научное учреждение. 29 декабря 2015 г. институту присвоено имя Льва Семеновича Берга (приказ Федерального агентства по рыболовству от 29 декабря 2015 г. № 1002). В 2019 г. Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга преобразован в Санкт-Петербургский филиал федерального государственного

бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ГосНИОРХ им. Л.С. Берга») (приказ МСХ РФ от 23 июля 2018 г. № 322). В настоящее время здесь продолжают исследования по рыбохозяйственному освоению малых озер с определением их биопродуктивности; по рациональной эксплуатации сырьевых ресурсов больших озер и водохранилищ; изучению состояния сырьевых запасов восточной части Финского залива; развитию методов рыбоводства в естественных водоемах; совершенствованию методов прудового рыбоводства; разработке основ тепловодного рыбоводства; созданию новых орудий лова; разработке методов борьбы с заболеваниями рыб; изучению загрязнений водоемов; поведению рыб в зоне гидротехнических сооружений и созданию средств рыбозащиты; экономике рыбного хозяйства. В этих работах, помимо центрального института, принимают участие Волгоградское, Саратовское, Уральское, Татарское, Пермское, Верхне-Волжское, Псковское отделения и Новгородская, Вологодская, Горьковская лаборатории. Институтом выпускаются книги по основным направлениям рыбохозяйственной науки – издано более 300 сборников научных трудов, тематические серии «Известия ГосНИОРХ», «Научные тетради ГосНИОРХ», большое количество справочников, инструкций, методических указаний, словарей, монографий, материалов и тезисов научных конференций.

Еще одной крупной научной организацией, обеспечивающей рациональное рыболовство во внутренних пресноводных экосистемах является Институт Биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина. Данное Учреждение создано как Институт биологии водохранилищ Академии наук СССР в соответствии с постановлением Президиума Академии наук СССР от 21 сентября 1956 г. № 515. Располагается Институт в поселке Борок Некоузского района Ярославской области на берегу Рыбинского водохранилища. Коллектив Института традиционно в качестве приоритетного объекта своих исследований рассматривает реку Волгу и каскад из 9 водохранилищ, обладающих значительным рыбохозяйственным потенциалом.

В период с 1988 по 1993 год Институтом Биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина руководил профессор, доктор географических наук Смирнов Николай Павлович, который ранее, с 1980 г. занимал должность ректора Ленинградского гидрометеорологического института (ЛГМИ). В 2001 году Н.П. Смирнов основал в РГГМУ кафедру Экологии, выпускником, а затем и сотрудником которой

являлся соавтор данного учебного пособия В.В. Дроздов, продолжая в настоящее время развивать научные направления своего учителя, под руководством которого была защищена дипломная работа и кандидатская диссертация в области климатических изменений и динамики популяций промысловых рыб.

Постановлением Президиума Российской академии наук от 13 декабря 2011 г. № 262 наименование Учреждения Российской академии наук Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН изменено на Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 15 мая 2018 г. № 215 «О структуре федеральных органов исполнительной власти» и распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 июня 2018 г. № 1293-р Учреждение передано в ведение Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Таким образом, с конца XIX в. в нашей стране началось формирование системы научно-исследовательских организаций призванных обеспечить функционирование рыбопромысловой отрасли практически по всей территории страны, включая как озера, реки, водохранилища, так и внутренние и окраинные моря, а с середины 1950-х гг. – также и промысел в открытом океане. В середине 1980-х гг. в нашей стране суммарные уловы рыбы за год доходили до 11 млн т, причем из них около 30 % – добывались в дальней океанской зоне, около берегов Чили, Западной Африки, в морях Антарктиды. В современный период, по данным на конец 2020 г., отечественная рыбопромысловая отрасль добыла около 4,9 млн т водных биоресурсов.

Успех промысла зависит не только от количества и степени оснащенности рыбопромысловых судов, но также и от состояния самих промысловых популяций, их урожайности, что определяется степенью оптимальности различных экологических факторов среды на нерестилищах для их размножения. Только на основе регулярных научных исследований, проведения гидрохимического и рыбохозяйственного мониторинга возможно определить текущее состояние и запасы популяции, определить допустимую меру изъятия половозрелой части популяции в процесс промысла, дать прогноз на будущее. В этом состоит основа рационального природопользования применительно к биологическим ресурсам водных экосистем.

В Российской Федерации, как и в других странах, активно занимающихся промышленным рыболовством, существует система нормативно-правовых актов регулирующих порядок и объемы освоения водных биологических ресурсов и обеспечивающая их состояние защищенности от нерационального антропогенного воздействия.

Функции по федеральному государственному контролю (надзору) в области рыболовства и сохранения водных биологических ресурсов во внутренних водах Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод РФ, а также Каспийского и Азовского морей до определения их статуса, государственному надзору за торговым мореплаванием в части обеспечения безопасности плавания судов рыбопромыслового флота в районах промысла при осуществлении рыболовства выполняет Федеральное агентство по рыболовству (Росрыболовство). Официальный сайт: <https://fish.gov.ru>.

1. Промысловые рыбы и их пищевая ценность

Рыбы – это холоднокровные позвоночные животные с непостоянной температурой тела, дышащие жабрами и передвигающиеся с помощью плавников. Рыб классифицируют по видам и семействам. Вид – это совокупность очень похожих друг на друга по биологическим и внешним признакам особей, которые обладают определенными сходными признаками (передаваемыми по наследству). Семейства объединяют рыб, имеющих ряд общих или сходных признаков. К таким признакам относятся: форма тела, характер кожного покрова (с чешуей, без чешуи), форма, количество и расположение плавников, наличие или отсутствие жирового плавника и т. д.

Известно более 25 тыс. видов рыб, из которых свыше 1000 являются промысловыми в различных районах мира, т. е. вылавливаемых в больших количествах, и их добыча экономически целесообразна. Но особую промысловую значимость в мировом рыболовстве имеют только около 150 видов. Среди них основное место в уловах занимают атлантическая и тихоокеанская сельдь и треска, сардина, скумбрия, перуанский анчоус, баренцевоморская мойва, ставрида, кефали, северо-тихоокеанский минтай и лососевые рыбы. Наиболее высоким уровнем рыбопродуктивности отличается северо-западная (1150 кг/км²) и юго-восточная (590 кг/км²) части Тихого

океана, а также северо-восточная (640 кг/км^2) и северо-западная (500 кг/км^2) части Атлантического океана. Именно в этих районах океанов формируются благоприятные условия для биологической продуктивности экосистем, что связано с наличием теплых океанских течений, фронтальных зон и апвеллингов. В прибрежной же шельфовой зоне данных районов, рыбопродуктивность достигает еще больших величин – до $1580\text{--}2850 \text{ кг/км}^2$. Для центральных океанических районов свойственна резко пониженная рыбопродуктивность. Общие мировые уловы рыб в настоящее время составляют около 85 млн т в год. При этом в пределах шельфовой зоны занимающей 7,4 % акватории Мирового океана добывают не менее 70 % всего мирового улова рыбы.

Во внутренних морях Европы, исходя из типа климата и океанологических особенностей, биологическое разнообразие рыб, в том числе промысловых, весьма различно. Так, в Балтийском море обитает около 110 видов рыб – из них около 30 являются промысловыми. В Черном море обитает 184 вида рыб, в Каспийском море обнаружен 141 вид рыб, но промысловой значимостью обладают также только около 30 видов в каждом из этих морей. В Белом море – 68 видов рыб, из них промысловое значение имеют около 20 видов.

В окраинных морях омывающих побережье России биологическое разнообразие рыб весьма различно. Так, в Баренцевом море – обитает 114 видов рыб, из них около 30 – промысловые. В Карском море – всего 54 вида, промысловое значение имеют около 15 видов. В Беринговом море обитает 315 видов рыб, из них промысловые – около 30 видов. В Охотском море обитает около 300 видов рыб, но промысловое значение имеют не более 40. В Японском море живут около 900 видов рыб, из них промысловых – около 170 видов. На рис. 1.1 представлены важнейшие и перспективные районы мирового промышленного рыболовства, а также распределение основного видового состава рыб в промысловых уловах.

Согласно приказу Минсельхоза РФ от 23.10.19 № 596 был утвержден Перечень особо ценных и ценных видов водных биоресурсов. Перечень разделен на особо ценные и ценные виды, представленные в табл. 1.1.

Промысловые рыбы классифицируют по нескольким признакам. По образу жизни и месту обитания рыб подразделяют на морские, океанические, пресноводные, проходные и полупроходные. Морские рыбы и океанические (треска, скумбрия, сельдь) обитают и нерестятся в соленой воде, в пресной погибают. Бывают рыбы:

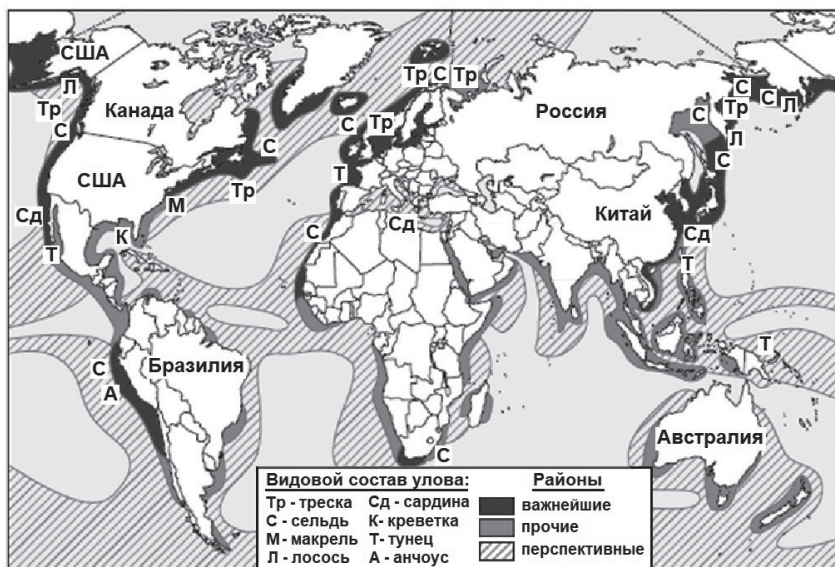


Рис. 1.1. Районы промысла и основной видовой состав улов промышленного рыболовства

пелагические – обитающие в верхней толще воды (сельдь, сардины, скумбрия); придонные или донные – обитающие на дне или у дна (треска, камбала, морской окунь). Стайные – килька, сардина, треска; временно стайные – объединяющиеся в стаи в период нерестовых миграций (сельдь океаническая); рассеянные ведущие одиночный образ жизни (камбала, акула). Пресноводные – постоянно живут и нерестуют в пресной воде (щука, форель, лосось, карп, толстолобик).

Полупроходные рыбы – обитают в определенных участках морей (устьях рек), а для нереста и зимовки уходят в верховья рек (лещ, сазан, судак, сом). Проходные – живут в морях, для нереста заходят в реки (осетровые, лососевые) или наоборот (угорь).

Мигрирующие (проходные рыбы) отличаются от непроходных тем, что имеют способность плавать некоторое время в морях, а ещё одну половину – в реках, впадающих в них. Некоторые мигрирующие рыбы легко переходят на пресноводный способ обитания (анадромный вид рыб), а другие – на морской (катадромные особи). Многие для таких переходов преодолевают большие расстояния. Такие перемещения связаны либо с добычей пищи, либо с размножением. *Анадромные и катадромные виды рыб имеют свои*

**Табл. 1.1. Ценные и особо ценные виды промысловых рыб
согласно приказу Минсельхоза РФ от 23.10.19 № 596**

Особо ценные виды рыб	
Белуга	<i>Huso huso</i>
Калуга	<i>Huso dauricus</i>
Осетр амурский	<i>Acipenser schrenckii</i>
Осетр персидский	<i>Acipenser persicus</i>
Осетр русский	<i>Acipenser gueldenstaedtii</i>
Осетр сибирский	<i>Acipenser baerii</i>
Севрюга	<i>Acipenser stellatus</i>
Ценные виды рыб	
Белорыбица	<i>Stenodus leucichthys</i>
Горбуша	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>
(Строка дополнительно включена с 5 апреля 2020 года приказом Минсельхоза России от 18 февраля 2020 года N 68)	
Камбала-калкан	<i>Scophthalmus maeoticus</i>
Камбала-тюрбо	<i>Scophthalmus maximus</i>
Кета	<i>Oncorhynchus keta</i>
(Строка дополнительно включена с 5 апреля 2020 г. приказом Минсельхоза России от 18 февраля 2020 г. № 68)	
Кижуч	<i>Oncorhynchus kisutch</i>
Кумжа (форель)	<i>Salmo trutta</i>
Кутум	<i>Rutilus frisii kutum</i>
Лосось атлантический (семга)	<i>Salmo salar</i>
Лосось озерный	<i>Salmo salar m. sebago</i>
Микижа (пресноводная жилая форма)	<i>Parasalmo mykiss</i>
Муксун	<i>Coregonus muksun</i>
Нельма	<i>Stenodus leucichthys nelma</i>
Нерка	<i>Oncorhynchus nerka</i>
Омуль арктический	<i>Coregonus autumnalis</i>
Омуль байкальский	<i>Coregonus autumnalis migratorius</i>
Сиг	<i>Coregonus lavaretus, Coregonus ussuriensis, Coregonus chadary</i>
Судак	<i>Sander lucioperca</i>
Сима	<i>Oncorhynchus masou</i>
Стерлядь	<i>Acipenser ruthenus</i>
Таймень	<i>Виды рода Hucho</i>
Угорь речной	<i>Anguilla anguilla</i>
Чавыча	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>
Чир	<i>Coregonus nasus</i>

особенности, связанные с изменением солёности воды. Мигрируя, такие особи ищут себе благоприятные условия для развития мальков, корм для питания.

Анадромный вид рыб для нереста из морской среды перемещается в пресную. Самыми яркими представителями выступают лососи, сельди, осетры. Самым ярким примером являются лососи Тихого океана.

Кроме лосося, более редким представителем является минога. Она встречается в дельтах Волги. Мечет икру в каменистых и песчаных отмелях. Очень известным анадромом является севрюга. Она обитает в бассейнах Чёрного, Каспийского и Азовского морей, откладывает икру в Волге, Урале, Куре. Самым ярким представителем катадромных особей является семейство угрёвых (угорь). Его икринки могут путешествовать в открытом океане месяцами и даже годами. Потом их относит к европейским берегам, где они заплывают в реки и начинают своё развитие. Угорь любит сильное течение, илистый или песчаный грунт. Заметить его очень сложно, днём он прячется в норы или под камни. С наступлением ночи он выходит из своего убежища. Большую часть своей жизни европейский угорь проводит в пресноводной среде.

По строению скелета промысловые рыбы бывают костистые и хрящевые (акулы, скаты), исключение составляют осетровые – хрящекостные.

Темпы роста рыбы зависят от кормовой базы водоемов, поэтому рыбы одного вида и возраста, добытые в разных водоемах, могут иметь различные длину и массу. Длина и масса тела различных видов рыб колеблются в широких пределах: длина от десятков до сотен сантиметров, масса – от нескольких граммов до сотен килограммов. По длине тела или массе рыбы судят о ее размере. Длину рыбы принято измерять по прямой от конца рыла до начала средних лучей хвостового плавника (без учета длины последнего). Полную (абсолютную) длину рыбы измеряют от конца рыла до середины прямой линии, соединяющей концы крайних лучей хвостового плавника. Рыбы старших возрастов имеют большие длину и массу, чем молодые рыбы. В одном возрасте и при одинаковой длине тела самки имеют обычно большую массу, чем самцы. Сезонные изменения размеров рыб выражаются в увеличении объема и массы тела при развитии гонад и уменьшении их после нереста.

Тело рыб состоит из неразграниченных между собой головы, туловища и хвоста. У ценных рыб выделяют еще приголовок (около

головы) и нарост (около хвоста). На теле рыбы различают парные плавники – грудные и брюшные; непарные – хвостовой, спинной, анальный.

Между массой рыбы G (кг) и ее абсолютной длиной L (м) существует связь, выражаемая уравнением кубической параболы вида $G = KL^3$.

Параметр параболы K может быть выражен отношением абсолютной дайны тела к его высоте B : $K = 90,36 (L/B)^{-1,495}$

Под массовым составом рыбы понимают соотношение массы отдельных частей ее тела и органов, выраженное в процентах массы целой рыбы.

Основной частью по пищевой значимости и количеству в рыбе является мясо, т. е. туловищные мышцы вместе с заключенными в них соединительной, в том числе жировой, тканями, кровеносными и лимфатическими сосудами и мелкими межмышечными косточками, имеющимися не у всех видов рыб. Содержание мяса у большинства рыб составляет 45–60 % массы рыбы.

У разных видов рыб масса ястыков составляет 5–35 %, молок обычно 3–5 %, а у некоторых рыб 10–12 % массы рыбы. В зависимости от вида рыбы и степени созревания гонад масса икры в ястыках составляет 75–95 %.

Масса печени у подавляющего большинства рыб составляет 0,5–4,0, а у некоторых рыб 10 % и более массы рыбы.

Внутренности обычно составляют 3–6 %, а в период интенсивного питания 10–15 % массы рыбы.

Относительная масса головы составляет 10–40 %, костей и хрящей – 5–12, плавников – 0,3–5,6, кожи – 2–8, чешуи – до 5,8 % массы рыбы.

Массовый состав рыбы исключительно непостоянен и зависит от ее вида, пола, физиологического состояния и времени лова. Зависимость массового состава от пола рыбы определяется в основном массой зрелых гонад у самцов и самок.

Сезонные различия в массовом составе рыбы связаны, с одной стороны, с изменением размеров гонад, с другой – с неравномерностью питания и, следовательно, различным уровнем содержания жира в разное время года.

У рыб с возрастом увеличивается количество мяса за счет развития мышечной и жировой тканей. В теле рыбы с некоторой долей условности различают съедобные и несъедобные части. К съедобным частям относятся мясо, развитые гонады (икра и молоки)

и печень, к несъедобным отходам – кожа, кости, плавники, чешуя, желудочно-кишечный тракт. При промышленной разделке рыбы образуется меньшее количество съедобных частей, чем при препаративном разделении органов и тканей, проводимом с целью определения массового состава тела рыбы. Количество отходов зависит от вида рыб, их физиологического состояния, а также способа разделки и вида используемых для этих операций машин. Наибольшее количество отходов представлено головами рыб. При разделке таких рыб, как морской окунь, ставрида, макрурус, морской карась, головы достигают 30 % массы обрабатываемой рыбы. При разделке сельдевых, камбаловых, лососевых, сиговых на долю голов приходится около 10 % массы рыбы.

Кости и хрящи составляют 5–12 % массы разделяемой рыбы. Отходы плавников составляют 1,0–22 %, чешуи – 0,5–5,0 %, кожи – 2,0–15 %. Значительным колебаниям подвержена масса отходов, представленная внутренностями и зависящая от степени созревания гонад рыбы. Здесь на долю отходов с учетом икры и молок приходится 8–30 % массы рыбы.

Прирези мяса образуются при удалении голов, плавников, кожи. На величину отходов мяса влияет выбранный способ отсечения головы. Например, при удалении головы у трески прямым резом отсекается 7–10 % мяса, наклонным резом под углом 60° – 5 %. Еще более эффективным является фигурный рез при отделении головы.

Количество прирези мяса при удалении плавников составляет 1–2 %, иногда 5 %, при удалении кожи – примерно такие же количества. Количество отходов мяса увеличивается при разделке, например, пелагических рыб, когда вместе с кожей удаляется и темное мясо. Наибольшие потери мяса наблюдаются при производстве обесшкуренного филе (10–15 %). На количество отходов при разделке рыбы, помимо видовых и биологических факторов, влияют качество сырья, эффективность применяемой разделочной техники и квалификация рабочих. При ручной разделке рыбы с механическими повреждениями количество отходов возрастает, т. к. приходится удалять поврежденные участки тела.

Снижение количества отходов при механизированной разделке связано с выбором наиболее эффективного направления реза головы, в то же время не ведущего к значительному усложнению разделочных устройств.

Значительного сокращения отходов можно достичь предварительной сортировкой рыбы по размеру и поочередной разделкой ее отдельных размерных фракций.

К вторичным материальным ресурсам относятся отходы производства, которые в данный момент могут быть использованы в качестве потенциального сырья или дополнительной продукции.

К ним относятся отходы производства, остающиеся после использования сырья и вспомогательных материалов для получения основной продукции данного производства. К вторичным материальным ресурсам не относятся возвратные отходы, неизбежные технологические потери и отбросы производства.

Под отходами производства понимают остатки сырья и материалов, образующиеся в процессе изготовления основной продукции, которые неполностью утратили потребительскую стоимость сырья и материалов и могут быть использованы в качестве сырья или добавок к нему при производстве новой продукции или непосредственно как вторичная продукция иного назначения. В рыбной промышленности к отходам производства относят отходы от разделки рыбных и нерыбных объектов промысла (головы, внутренности, плавники с прирезами мяса, отходы при получении филе и др.). Эти отходы производства рыбной промышленности являются вторичными материальными ресурсами.

Побочными продуктами производства в рыбной промышленности считаются такие продукты, которые образуются в процессе физико-химической переработки сырья наряду с основной продукцией, но не являются главной целью технологического процесса; они не могут быть использованы в качестве готовой продукции без дальнейшей обработки. В рыбной промышленности побочными продуктами являются отходы от разделки ценных видов рыб (лососевые, осетровые и др.) или отходы, которые приобретают свойства готовой продукции после обработки (упаренные бульоны, гидролизаты и др.).

Возвратные отходы – это отходы, повторно используемые в технологических процессах, источниках их образования без особой доработки в качестве добавок к основному сырью, например рыбные бланшировочные бульоны, применяемые при производстве заливок для консервов.

Неизбежные технологические потери – это безвозвратные потери производственных веществ, обусловленные спецификой технологических процессов (испарение, усушка и др.).

Неиспользуемые отходы – отходы производства, которые на современном уровне развития науки и техники еще не могут быть использованы или их применение считается экономически

неэффективным. В рыбной промышленности к ним относятся дымовые выбросы коптильных производств, сточные воды и др.

Возможности рационального и полного использования всех частей тела рыбы при ее разделке позволяют не усложнять конструкции машин, а наличие значительного количества прирезей мяса, например на головах рыб, используемых в дальнейшем для производства пищевых высокоценных продуктов, не снижает экономических показателей работы предприятий. Способы разделки, допустимое количество отходов приведены в соответствующих нормативных документах и должны соблюдаться в обязательном порядке.

На пищевую ценность мяса рыбы влияют вид, возраст, место обитания, физиологическое состояние, время вылова рыбы и др. Содержание белков в мясе рыбы составляет в среднем 16–21,5 %, азотистых веществ – 5,427 %, жира – 0,1–54 %, воды – 46–92 %, минеральных веществ – 1–3 %. Наиболее существенной и ценной частью являются белки. Качество белка рыб очень высоко, а его биологическая ценность превышает даже ценность коровьего молока и белка теплокровных животных. Белки мяса рыб содержат практически все незаменимые аминокислоты, к тому же в оптимальных для организма человека соотношениях. Небелковые азотистые соединения, растворимые в воде, называют азотистыми экстрактивными веществами. При хранении рыбы экстрактивные вещества могут претерпевать нежелательные изменения, приводящие к снижению и порче рыбы. Жиры рыб в основном (на 80 %) состоят из высоконенасыщенных жирных кислот, легко усваиваются. Они богаты витаминами А, D, Е, полиненасыщенными кислотами, а также лецитином. Жировые отложения у рыбы в основном встречаются в подкожной соединительной ткани, мышцах, у основания плавников, в печени, в виде ожирков в брюшной полости. Жирность рыбы значительно снижается в период нереста. Общее количество минеральных веществ в тканях и органах рыбы не превышает 3 %, в костных образованиях их значительно больше. Для морских рыб характерно большое содержание различных микроэлементов – в 40–70 раз выше, чем в мясе наземных животных. Таким образом, мясо рыб можно назвать источником важнейших минеральных веществ. Минеральные вещества мяса рыб разнообразны, но преобладают фосфор, калий, натрий, кальций, сера, хлор, марганец, йод. В пресноводной рыбе отсутствуют йод, бром и медь. В мясе рыбы, в основном в печени, присутствует углерод гликоген. Он играет существенную роль в изменениях рыбы, после улова участвует в формировании

вкусовых свойств рыбных продуктов. Вода в мясе рыбы находится в свободном и связанном состояниях. Соотношение этих форм воды может меняться в процессе обработки и хранения рыбы. Калорийность мяса рыбы равноценна мясу домашних животных и находится в пределах 60–208 ккал / 100 г.

Пищевая ценность мяса рыбы зависит, в первую очередь, от выхода съедобных частей и содержания белков и жиров. Химический состав мяса рыбы, определяющий ее пищевую ценность и вкусовые свойства, характеризуется, прежде всего, содержанием воды, жира, азотистых и минеральных веществ, углеводов и витаминов. В мясе рыбы находятся также продукты белкового и жирового обмена, вещества, служащие регуляторами жизненных процессов. Химический состав рыбы не является постоянным. Он существенно зависит не только от вида и физиологического состояния рыбы, но и от ее возраста, пола, места обитания, времени лова и условий окружающей среды.

Содержание основных веществ в мясе рыб может колебаться в следующих пределах: воды – от 46,1 до 92,3 %, жира – от 0,1 до 54 %, азотистых веществ – от 5,4 до 26,8 %, минеральных веществ – от 0,1 до 3 %. Количество белков в мясе рыб является довольно постоянным фактором и колеблется в небольших пределах (15–20 %); оно примерно равно содержанию белков в мясе теплокровных животных. В икре и молоках белков несколько больше, чем в мясе рыб. Это позволяет рассматривать рыбу в первую очередь как ценный белковый продукт питания. В рыбе есть все незаменимые аминокислоты, в том числе имеющие особенно важное значение для организма человека – лизин, метионин, триптофан, называемые незаменимыми лимитирующими, что и обуславливает ее высокую ценность как полноценного белкового продукта питания. В состав белковых веществ входят главным образом простые полноценные белки типа альбуминов и глобулинов. Белки типа глобулинов – миозин, актин Г и Ф, актомиозин, тропомиозин – являются солерастворимыми и образуют миофибриллы (тончайшие нитевидные образования) мышечных клеток. Белки типа альбуминов – миоген А и Б, глобулин Х, миоглобулин, миоальбумин – водорастворимые, входят в состав саркоплазмы (полужидкое белковое вещество внутри мышечного волокна). Кроме того, в составе мышечных волокон находятся растворимые в слабых растворах щелочей и кислот сложные белки: нуклеопротеиды, фосфопротеиды и глюконопротеиды. В состав сарколеммы (эластичной оболочки) мышечных волокон и соединительной

ткани входят простые неполноценные белки, устойчивые к растворителям и представленные в основном коллагеном. Эластин практически отсутствует. При тепловой обработке коллаген переходит в глютин, который обладает высокой гидрофильностью, чем и объясняется нежность и сочность консистенции мяса рыбы. При варке и жаренье рыба теряет всего лишь около 20 % влаги, а мясо теплокровных животных теряет почти в два раза больше. Сладкий вкус мяса рыбы придают некоторые аминокислоты (глицин, L-аланин).

Углеводы рыбы представлены в основном гликогеном. Хотя роль углеводов в пищевом отношении невелика из-за малого их содержания, они оказывают значительное влияние на вкус, цвет и запах рыбы. Полагают, что потемнение мяса при вялении и сушке, при обжарке и т.п. происходит также и за счет образования меланоидинов. Сладковатый вкус рыбы и рыбных бульонов объясняется гидролитическим расщеплением гликогена до глюкозы. Важную роль играют углеводы и в посмертных изменениях рыбы (окочение, автолиз).

Икра рыб – это самая ценная в пищевом и товарном отношении часть рыбы. Икру вырабатывают из осетровых, лососевых, а также из других видов рыб. Икра содержит полноценные белки, жиры, минеральные вещества, витамины А, D, С, В. По питательной ценности икра превосходит многие пищевые продукты. Особенной ценностью обладает икра осетровых, в которой содержится до 2 % лецитина, служащего для питания нервной ткани. Икринки представляют собой половой продукт самок рыб. Каждая икринка состоит из оболочки, протоплазмы и ядра. Зерно икры покрыто оболочкой, у осетровых – три оболочки, у лососевых – одна. На оболочке имеется зародышевое пятно. Внутри зерна – белковая масса с жиром и другими веществами (протоплазма). Более плотная белковая масса в зерне у частиковых рыб, сама жидкая – в зерне лососевых. Ценится крупная зрелая икра с плотной упругой оболочкой, в ней меньше лопнувших икринок и отстоя. Из осетровых самая крупная икра у белуги, мелкая – у севрюги. У лососевых крупная икра у кеты, самая мелкая – у кижуча и нерпы. Все икринки заключены в общую оболочку, образуя ястык. Жир сконцентрирован у осетровых в центре зерна, у лососевых – сразу под оболочкой. Икра лососевых быстрее окисляется и прогоркает. Цвет икры у осетровых от светло-серого до черного (ее называют черной икрой). У лососевых – от желто-оранжевого до кирпично-красного (красная икра). В жире икры содержатся ненасыщенные жирные кислоты, которые легко окисляются, поэтому икра – продукт недлительного

хранения. Икру получают из осетра, белуги, калуги, севрюги, шипа. Из осетровых готовят икру: зернистую, зернистую пастеризованную, паюсную, ястычную.

Таким образом, рыбы, особенно морские, являются для человека одним из самых ценных продуктов питания.

2. Основы экологии рыб

Предметом науки экологии является взаимодействие живых систем (организмов, популяций, биоценозов различного масштаба) с неживой средой обитания и между собой. Это традиционное, классическое определение экологии. Основным объектом экологии является *экосистема*, представляющая собой единство *биоценоза* и *экотопа*. Биоценоз – это совокупность всех растений, животных, грибов и микроорганизмов обитающих на данной территории. Экотоп включает компоненты неживой природы, с которыми взаимодействуют организмы обитающие в наземно-воздушной среде (температура воздуха, солнечный свет, влажность, ветер и др.) и в водной среде (температура воды, соленость воды, концентрации растворенного кислорода и др.). Живые (биотические) и неживые (абиотические) элементы экосистемы находятся в тесной связи и способны оказывать друг на друга значительное влияние.

Экология принадлежит к фундаментальным разделам биологии, наравне с физиологией, анатомией, морфологией, генетикой, теорией эволюции и др. Фундаментальные разделы изучают основные общие свойства жизни, характерные для всех групп организмов. Существуют также биологические науки, изучающие отдельные крупные группы организмов. Среди таких наук – ботаника, зоология и микробиология. В свою очередь, каждая из них включает частные науки, изучающие сравнительно узкую таксономическую группу организмов. Например, в состав зоологии входят такие частные науки как ихтиология (объект изучения – класс рыбы), орнитология (класс птицы), энтомология (класс насекомые) и др. Экология, как фундаментальный раздел биологии, имеет отношение к каждому таксономическому уровню. На уровне царств живой природы можно говорить об экологии животных, растений или микроорганизмов. На уровне типов можно говорить об экологии моллюсков, членистоногих, хордовых и т.д. На уровне классов можно заниматься

изучением экологии рыб, птиц, млекопитающих и т.д. Также можно говорить об экологии отдельных отрядов (китообразные, ластоногие, окунеобразные, сельдеобразные, трескообразные) и др.

Отдельные компоненты окружающей среды, оказывающие непосредственное и очевидное воздействие на различные стороны жизнедеятельности организмов, называются *экологическими факторами*. Понятие экологического фактора является ключевым в экологии. Именно через экологические факторы оценивают влияние среды на организмы. Под экологическими факторами понимается также любой элемент или условие среды, на которые организмы реагируют приспособительными реакциями, или адаптациями. За пределами приспособительных реакций лежат летальные (гибельные для организмов) значения факторов. Правомерно также такое определение: экологический фактор – это неделимый далее элемент среды, способный оказывать прямое или косвенное воздействие на живые организмы хотя бы на протяжении одной из стадий их жизненного цикла. Неделимость экологического фактора можно объяснить на следующем примере. В качестве экологического фактора нельзя рассматривать глубину водоёма или высоту над уровнем моря, т. к. на организмы непосредственное воздействие оказывают не эти морфометрические характеристики рельефа, придуманные человеком, а те конкретные элементы среды, изменчивость которых зависит от глубины или высоты. С возрастанием глубины водоёмов обычно уменьшается температура, содержание растворённого кислорода, освещённость, повышается минерализация и гидростатическое давление, а с увеличением высоты над уровнем моря уменьшается атмосферное давление и содержание кислорода в воздухе и т.д. Именно эти элементы среды (температура, кислород, минерализация воды, свет, давление и др.), влияющие на процессы роста, размножения и выживания растений и животных в данном местообитании, следует называть экологическими факторами.

Следует учитывать, что действие экологического фактора может быть не только прямым, но и косвенным, т. е. проявляться через цепочку причинно-следственных связей. Например, известно, что для большинства мелководных районов внутренних морей Европы свойственна повышенная продуктивность рыб. Чем это можно объяснить? Основную роль здесь играют биогенные вещества, прежде всего соединения азота и фосфора, которые поступают в прибрежные экосистемы вместе с речным стоком. Обилие биогенных веществ на фоне высоких летних температур приводит к развитию

мельчайших водорослей – фитопланктона, а вслед за ними возрастает продукция низших ракообразных – зоопланктона, которые служат незаменимой пищей для молоди всех видов рыб. Наличие хорошей кормовой базы приводит к лучшей выживаемости и более быстрому росту молодых рыб, что положительно сказывается на их численности а, в дальнейшем – на величине уловов. Таким образом, азот и фосфор выступают здесь в роли экологических факторов, способных оказывать совместное положительное воздействие на процессы биологической продуктивности. Как элементы среды они неделимы, их определяющая роль проявляется не прямо, а косвенно.

Существует несколько подходов классификации экологических факторов. Согласно наиболее распространенной классификации, все они подразделяются на 3 группы: абиотические, биотические, антропогенные.

Абиотические – это факторы неживой природы. К ним относятся: температура воздуха и воды, солёность воды, влажность воздуха и почвы, атмосферное и гидростатическое давление, концентрация различных газов и микроэлементов и т.д.

Биотические – факторы живой природы. Включают факторы обеспеченности пищей и различные формы межвидовых взаимодействий (хищничество, паразитизм, конкуренция, симбиоз и др.). Проявляются через влияние одних организмов или их сообществ на другие. Эти влияния могут быть со стороны растений (фитогенные), животных (зоогенные), микроорганизмов, грибов и т.п.

Антропогенные – факторы человеческой деятельности. Могут иметь природу: физическую (электромагнитные поля, радиоактивные продукты атомной промышленности и др.), химическую (синтетические средства борьбы с вредителями культурных растений, органические и неорганические удобрения, продукты сжигания органического топлива и т.д.) и биологическую (преднамеренное или случайное вселение чужеродных для местной экосистемы видов растений, насекомых, рыб и т.д.). В их числе можно выделить прямое влияние на организмы (например, промысел, вырубка леса и т.п.) и опосредованное влияние на местообитание (загрязнение среды, уничтожение нерестилищ или кормовых угодий, строительство плотин на реках и т.п.).

Общее количество экологических факторов, воздействующих на организм или на биоценоз, огромно, некоторые из них хорошо известны и понятны (например температура воды и воздуха),

действие других (например изменения силы гравитации) – только недавно стало изучаться. Несмотря на большое разнообразие экологических факторов, в характере их воздействия на организмы и в ответных реакциях живых существ можно выделить ряд закономерностей.

Согласно **закону оптимума** для биоценоза, организма или определенной стадии его развития имеется диапазон наиболее благоприятного (оптимального) значения фактора. За пределами зоны оптимума лежат зоны угнетения, переходящие в критические точки, за которыми существование невозможно (рис. 2.1). К зоне оптимума обычно приурочена максимальная плотность популяции. Зоны оптимума для различных организмов неодинаковы. Для одних они имеют значительный диапазон. Такие организмы относятся к группе *эврибионтов* (греч. «эури» – широкий; «биос» – жизнь). Организмы с узким диапазоном адаптации к факторам называются *стенобионтами* (греч. «стенос» – узкий). Виды, способные существовать в широком диапазоне температур называются *эвритермными*, а те, которые способны жить только в узком интервале температурных значений, – *стенотермными*. Возможность обитать в условиях с различной соленостью воды называется *эвригалинностью*, на различных глубинах – *эврибатностью*, в местах с различной влажностью почвы – *эвригигричностью* и т.д. Важно подчеркнуть, что зоны оптимума по отношению к различным факторам различаются,

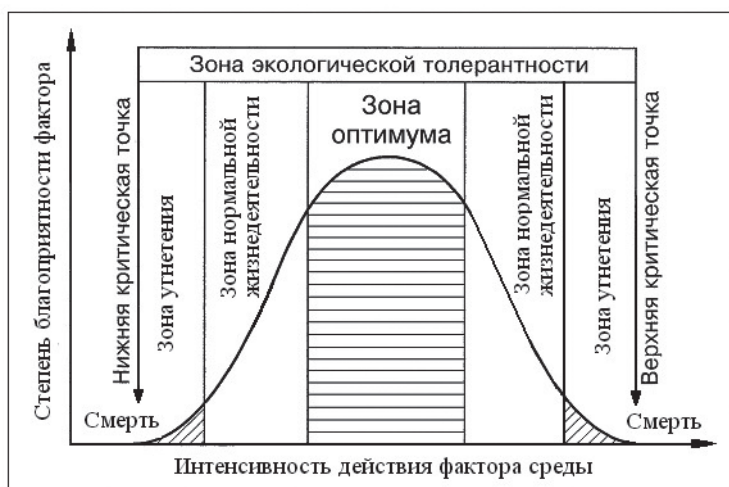


Рис. 2.1. Схема действия факторов среды на живые организмы – закон оптимума

и поэтому организмы полностью проявляют свои потенциальные возможности в том случае, если весь спектр факторов имеет для них оптимальные значения.

Диапазон значений факторов (между критическими точками) называют *экологической толерантностью*, или пластичностью (изменчивостью) (см. рис. 2.1). Эта характеристика зависит в значительной мере от среды, в которой обитают организмы. Если среда относительно стабильна по своим свойствам (малы амплитуды колебаний отдельных факторов), в ней больше стенобионтов (например, в глубоководных горизонтах морей и океанов, экваториальная зона суши), если среда динамична (например, поверхностный слой водоемов, континентальные участки умеренного пояса), то в ней больше шансов на выживание имеют эврибионты.

Зона оптимума и экологическая валентность обычно шире у теплокровных организмов, чем у холоднокровных. Надо также иметь в виду, что экологическая валентность для одного и того же вида не остается одинаковой в различных условиях (например, в северных и южных районах в отдельные периоды жизни и т.п.). Молодые и старческие организмы, как правило, требуют более кондиционированных (однородных) условий. Иногда эти требования весьма неоднозначны. Например, по отношению к температуре личинки насекомых обычно стенобионтны (стенотермны), в то время как куколки и взрослые особи могут относиться к эврибионтам (эвритермным).

Эврибионты хорошо выдерживают широкий диапазон колебаний факторов среды, например, типичным эврибионтом является верблюд, способный жить не только в условиях пустыни, выдерживая значительные колебания температуры, недостаток влаги и пищи, но и в условиях умеренного пояса. Виды с широкими диапазонами толерантности обычно первыми заселяют новые районы, в которых произошли какие-то специфические изменения окружающей среды, для которых у природы пока еще не выработаны адаптации, то есть определенные приспособления к действию данных факторов. Если условия среды изменяются в малых диапазонах, то это способствует формированию у организмов четких адаптаций, иногда в ущерб ширине диапазона толерантности. При этом они оказываются способными нормально существовать в достаточно суровых по нашим меркам условиях, например, в полярных водах, где температура хотя и низкая (около 2 °С), но достаточно стабильная, или в жерлах вулканов. То есть эврибионты достойно выдерживают конкуренцию при достаточно широких и непредсказуемых колебаниях

факторов среды. В более стабильных условиях в конкурентной борьбе, как правило, побеждают стенобионты.

Условия, приближающиеся по одному или сразу нескольким факторам к критическим для жизни значениям для данного организма, называют *экстремальными*. Положение оптимума и критических точек на градиенте фактора может быть несколько сдвинуто под влиянием меняющихся условий среды.

По данным Д. Алабастер и Р. Ллойд (1984), большинство токсических веществ оказывают на рыб суммированное действие. Для характеристики совместного эффекта смесей токсикантов ими предложен коэффициент *аддитивности*. Установлено, что степень комбинированного действия зависит от вида токсиканта, его доли в смеси, длительности воздействия, показателей состава воды (например, жесткости). На токсичность существенно влияют также экологические факторы температура, газовый состав, жесткость, pH, скорость течения воды и инсоляция.

С *температурой воды* тесно связана растворимость химических веществ, а следовательно, и величина их концентраций. Чем выше температура воды, тем выше растворимость большинства ядов (например, солей тяжелых металлов) и их концентрация в воде. При низкой температуре многие соединения выпадают в осадок, плохо проникают в организм гидробионтов и становятся менее токсичными. С другой стороны, температура оказывает неспецифическое влияние на устойчивость организма рыб по отношению к токсинам, поскольку с ней тесно связаны интенсивность обмена веществ и скорость всасывания токсикантов. С подъемом температуры воды повышается чувствительность рыб к ядам, сокращается время проявления симптомов интоксикации и ускоряется гибель. Поэтому концентрации, нетоксичные при низких температурах, могут оказаться летальными при повышенных. Наконец, повышение температуры воды в ряде водоемов, обусловленное сбросом нагретых сточных вод (термальное загрязнение), влияет отрицательно как самостоятельный фактор.

Выживаемость рыб при различных токсических воздействиях снижается при дефиците *растворенного в воде кислорода*, т. к. он приводит к повышению скорости кровотока в жабрах, что благоприятствует проникновению и накоплению ядовитых веществ в органах и тканях рыб. Повышенное содержание CO_2 в водоеме, с одной стороны, изменяет буферные свойства воды и благодаря этому снижает действующую концентрацию вещества, с другой – отрицательно

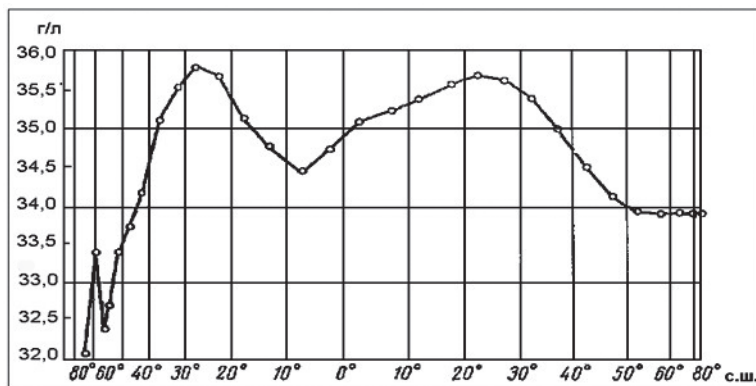


Рис. 2.2. Распределение солёностных условий существования на поверхности Мирового океана по различным широтам

влияет на физиологические функции организма, прежде всего на газообмен.

Солёность воды является важнейшим экологическим фактором. На поверхности в открытых районах океанов, как в низких, так и в высоких широтах, количество растворённых солей в воде находится на относительно постоянном уровне значений – от 33 до 36 ‰. Распределение значений солёности воды в Мировом океане в поверхностном слое на различных широтах показано на рис. 2.2. Значения поверхностной солёности в тропической и экваториальной зонах Мирового океана обычно на 2–4 г/л превосходят значения, свойственные глубинным и придонным водным массам. Это объясняется интенсивным прогревом и испарением воды. В холодных же районах, на просторах Северного Ледовитого и Южного океанов, поверхностная солёность, напротив, на несколько промилле меньше, чем у самого дна.

Небольшое снижение солёности происходит за счёт таяния береговых ледниковых массивов Гренландии и Антарктиды, плавучих ледяных полей и айсбергов. Кроме того, периодическим процессом, приводящим к некоторому снижению солёности поверхностного слоя на всех широтах, являются атмосферные осадки. Но даже самые сильные муссонные ливни, частые например, у западных берегов Индии, практически никогда не понижают поверхностную солёность менее чем до 28 г/л, и это снижение наблюдается весьма непродолжительное время.

В связи с этим важная роль солёности воды в качестве экологического фактора наиболее ярко проявляется только во внутренних морях, имеющих ограниченную связь с Мировым океаном. В таких водоёмах солёность в зависимости от района может составлять от 3–5 до 25 ‰. Например, в Белом, Балтийском, Азовском морях наблюдается существенная неоднородность в распределении значений данной характеристики как по горизонтали, так и по вертикали, за счёт влияния на состав и структуру морских водных масс значительного объёма пресного речного стока. Сильно опреснёнными являются некоторые заливы этих морей, такие как Двинская губа в Белом море, Финский залив на Балтике, Таганрогский залив Азовского моря.

Распределение основных солей в различных водных объектах показывает разнообразие условий среды по фактору солёности и предполагает соответствующее разнообразие жизненных форм организмов (табл. 2.1). Доминирующим компонентом океанических вод и вод внутренних морей Европы являются хлориды (от 58,6 до 88,8 ‰). Далее по количественной значимости следуют сульфаты (10,8–38,7 ‰), доля которых значительно возрастает в южных внутренних морях, затем соединения магния и карбонаты. Для вод озёр и рек характерно абсолютное преобладание карбонатов.

Табл. 2.1. Основные компоненты химического состава воды и значения солёности для водных объектов

Водоемы	Сульфаты, ‰	Хлориды, ‰	Карбонаты, ‰	Солёность, г/л
Пресные воды	13,2	6,9	79,9	менее 0,5
Открытый океан	10,8	88,8	0,4	35
Черное море	9,69	80,7	2,6	19
Каспийское море	30,5	63,3	1,2	12,9
Аральское море	38,7	58,6	0,9	11,3

Воды открытых районов всех океанов, а также окраинных морей отличаются крайним постоянством своего химического состава. В каком бы из океанов или окраинных морей мы не оказались, соотношение между компонентами морской воды будут в основном одинаковыми. Поэтому для установления общей солёности, оказывается достаточным установить содержание главного компонента – хлора. Перемножая концентрацию хлора, выраженную в г/л (промилле) в анализируемой морской воде на «хлорный коэффициент», равный 1,807, можно с достаточно высокой точностью определить общую солёность. Во внутренних мелководных морях данный подход

малоэффективен, потому что солевой состав воды может претерпевать заметные изменения по причине поступления значительного объема речных вод, обладающим иным соотношением ионов, как правило, с преобладанием кальция и гидрокарбонатов.

У пресноводных гидробионтов концентрация солей в полостных жидкостях в норме превышает их содержание в воде. Им угрожает избыточное поступление воды с очень малой минерализацией извне, что привело бы к нарушению жизненно важных физиологических функций. Поэтому они вынуждены удалять избыток воды из тела. Животные из группы простейших, например инфузории *Paramecium*, достигают этого за счет непрерывной работы специальных выделительных вакуолей. Рыбы удаляют лишнюю влагу через более сложную выделительную систему, причём необходимые минеральные соли задерживаются в организме в процессе фильтрации. В океанических условиях и в окраинных морях, гидробионты существуют в среде с солёностью, превышающей концентрацию солей в их телах. В связи с этим им грозит обезвоживание, и они должны защищаться от избыточного проникновения солей в организм из внешней среды. В целом, основным способом поддержания солевого баланса для водных организмов является стремление избегать местобитаний с неподходящей солёностью.

Пресноводные формы, адаптировавшиеся к жизни во внутренних водоёмах или в опреснённых заливах внутренних морей, не могут жить или успешно размножаться в морях при высокой солёности, а морские виды не переносят опреснения. Но примеры успешных адаптаций типично морских животных к жизни в пресных водах все же имеются. Это пресноводные дельфины, обитающие в реках Южной Америки, а также в р. Ганг в Индии, несколько видов пресноводных акул, морские млекопитающие, обитающие в озерах – ладожский тюлень и байкальская нерпа.

Жесткость воды влияет на токсичность двояко. Высокоминерализованные воды, образуя с токсическими (в основном неорганическими) веществами нерастворимые комплексы, уменьшают действующие на рыб концентрации ядов. В мягкой воде токсичность обычно выше, чем в жесткой. Снижение токсичности упомянутых соединений, с другой стороны, связано с тем, что ионы кальция, уменьшая проницаемость биологических мембран, препятствуют проникновению ядов внутрь организма. На токсичность большинства органических соединений, например детергентов и пестицидов, жесткость воды влияет незначительно.

Взаимосвязь токсичности и *pH* воды наиболее четко проявляется у тех веществ, которые могут существовать в ионизированной и неионизированной формах. Так, солевой аммиак при pH 8,0 в несколько раз токсичнее, чем при pH 7,0 за счет резкого повышения концентрации неионизированных молекул (NH_3). Действие сероводорода, сульфидов и цианидов усиливается по тому же принципу при сдвиге pH в кислую сторону.

Из физических факторов следует учитывать *скорость течения воды*, играющую важную роль в разбавлении и сносе сточных вод, и *солнечный свет*, ускоряющий их детоксикацию.

Таким образом, совместное воздействие ряда экологических факторов на организм может быть неоднозначно по своим последствиям в силу явлений синергизма и антагонизма. Поэтому в экологических системах весьма часто проявляется правило *эмерджентности*, согласно которому свойства и структура сложной системы не могут определяться простым суммированием совокупности свойств частных ее компонентов.

Достаточно часто в прикладных и фундаментальных экологических исследованиях появляется необходимость оценить степень и характер связи между собой нескольких величин, каждая из которых представлена набором данных. Например, исследуются причины динамики воспроизводства промысловых рыб или сельскохозяйственных культур, выращиваемых в открытом грунте. Имеется ряд данных о величинах урожайности поколений или о выживаемости особей интересующего вида (выживаемость икры на нерестилищах, численность молодых особей рыб, биомасса их нерестового стада, масса урожая растительных культур с определенной площади и т.п.) и данные о динамике различных факторов среды, многие из которых потенциально могли бы повлиять на промысловый организм или культурное растение. Ставится задача определить степень зависимости показателей воспроизводства от влияния каждого фактора или их совокупности. В настоящее время данная задача успешно решается с применением методов математической статистики и корреляционного анализа (парного и множественного), а также с использованием других более сложных методов многомерного анализа данных (факторного анализа, кластерного анализа, метода главных компонент и др.).

Суть корреляционного анализа состоит в следующем. Коэффициент корреляции Браве-Пирсона – это величина, которая может варьировать в пределах от +1 до -1. Она обозначает степень и

характер связи между величинами, представленными в виде рядов данных. В случае полной положительной корреляции этот коэффициент равен плюс 1, а при полной отрицательной – минус 1. В случае если коэффициент корреляции равен 0, обе переменные полностью независимы друг от друга. В гуманитарных науках корреляция считается достаточно тесной, если ее коэффициент выше 0,60; если же он превышает 0,90, то корреляция считается очень сильной. Однако для того, чтобы можно было делать выводы о связях между переменными, большое значение имеет объем выборки: чем выборка больше, тем достовернее величина полученного коэффициента корреляции. Существуют таблицы с критическими значениями коэффициента корреляции Браве–Пирсона для разного числа степеней свободы, т. е. количества используемых данных в ряде наблюдений (оно равно числу пар за вычетом 2, т. е. $n - 2$). Лишь в том случае, если коэффициенты корреляции больше этих критических значений, они могут считаться достоверными. Так, для того чтобы коэффициент корреляции $r = 0,70$ был достоверным, т. е. определенная связь была действительной на 95 %, а не являлась случайной, в анализ должно быть взято не меньше 30 пар значений.

Коэффициент корреляции (r) – это параметрический показатель, для вычисления которого сравнивают средние и стандартные отклонения результатов двух измерений. При этом используют следующую формулу:

$$r = \frac{(\sum XY) - n\bar{X}\bar{Y}}{(n-1)S_x S_y}, \quad (2.1)$$

где $\sum XY$ – сумма произведений данных из каждой пары; n – число пар; $\bar{X}$ – средняя для данных переменной X ; $\bar{Y}$ – средняя для данных переменной Y ; S_x – стандартное отклонение для распределения x ; S_y – стандартное отклонение для распределения y .

Сущность положительных и отрицательных коэффициентов корреляции принципиально различна, даже если по своему абсолютному значению они совпадают. Отрицательный коэффициент r указывает на то, что эффективность биологического процесса чаще всего тем выше, чем интенсивность воздействия данного экологического фактора меньше. При получении положительного коэффициента корреляции развитие организма или повышение плодовитости всей популяции происходит на фоне роста значений анализируемого фактора среды.

Корреляционный анализ помогает установить, можно ли предсказывать возможные значения одного показателя, зная величину другого. В качестве конкретного примера рассмотрим сравнение численности молодого поколения особей восточно-балтийской популяции трески (*Gadus morhua* L.) в возрасте около 1 года с динамикой солёности и концентрации кислорода в придонном горизонте Готландской впадины, которая является наибольшим по площади нерестилищем для данного вида. Из рис. 2.3а видно, что формирование наиболее урожайных поколений восточно-балтийской трески в 1972 и 1973 гг., в 1976 и 1977 гг., а также в 1979 и 1980 гг. наблюдалось на фоне возрастания солёности в придонном горизонте Готландской впадины до 12,8–13,2 ‰. Однако со второй половины 1980-х гг. возникла отчётливая тенденция к снижению солёности. При этом урожайность молоди трески в начале 1990-х годов снизилась по сравнению с высокоурожайным периодом 1976 и 1977 гг. почти в 8 раз! Между солёностью в промежуточном слое Готландской впадины (глубина 100 м) и численностью молоди в Центральной части Балтийского моря также получены значимые коэффициенты корреляции, но теснота связи здесь меньше ($r = 0,602$ и $r = 0,668$ при $P = 99\%$ соответственно при наличии временного сдвига численности молоди относительно значений солёности на 1 и 2 года). Зависимость численности рекрутов восточно-балтийской трески от содержания растворённого кислорода (рис. 2.3б), проявляется в придонном горизонте Готландской впадины ($r = 0,553$ при $P = 99\%$, временной сдвиг относительно концентрации кислорода составляет 1 год), в то время как с концентрацией кислорода в промежуточном слое на глубине 90 м значимая связь отсутствует. Интересным является также факт наличия тесной корреляционной связи между динамикой численности молоди трески и температурой воды в Готландской впадине на глубине 230 м с заблаговременностью в 1 год ($r = 0,712$ при $P = 99\%$). Большинство специалистов ранее не учитывали воздействие на урожайность трески такого важного фактора среды, как температура воды, полагая, что в условиях более тёплого относительно других морей Северной Атлантики Балтийского моря температура не должна оказывать значительного влияния на ход процесса развития молоди. Между температурой воды в промежуточном горизонте Готландской впадины и численностью молоди в Центральной части Балтийского моря значимая связь отсутствует. В целом, можно прийти к заключению о том, что молодь трески находится в большей зависимости от влияния солёности,



Рис. 2.3. Характер зависимости между численностью молодого поколения восточно-балтийской популяции трески от солёности (*a*), концентрации кислорода (*б*) и температурой воды (*в*) в придонном горизонте Готландской впадины. Временной сдвиг численности молоди относительно факторов среды составляет 1 год.

концентрации кислорода и температуры воды именно в придонном горизонте Готландской впадины, чем в других районах моря.

При наличии коэффициентов корреляции между анализируемыми величинами $r > 0,70$ возможно построить прогностическое *уравнение регрессии*, которое будет отражать не только степень тесноты связи, но и конкретную форму этой связи. Ниже приводится уравнение множественной регрессии между численностью молоди восточно-балтийской трески и солёностью, температурой воды, а также содержанием растворённого кислорода в придонном горизонте Готландской впадины. При наличии временного сдвига значений численности молоди трески относительно факторов среды на 1 год данное уравнение имеет вид:

$$\begin{aligned} & \text{Численность молоди} = \\ & = -2706,2 + 82,2 S\text{‰} + 199,5 T_w \text{ } ^\circ\text{C} - 22,05 O_2 \text{ } \text{‰} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Коэффициент корреляции между наблюдаемыми и рассчитанными по составленному уравнению множественной регрессии значениями численности рекрутов трески $r = 0,71$ ($r^2 = 0,504$). Таким образом, полученное уравнение описывает не менее половины исходной дисперсии динамики численности молодого поколения (рекрутов) и теснота связи между эмпирическими и рассчитанными значениями в данном случае достаточно велика. Средняя разность между наблюдаемыми и рассчитанными значениями составляет всего 19 %, т. е. данная модель наилучшим образом из всех описанных выше отражает влияние факторов среды на урожайность трески на нерестилище в районе Готландской впадины.

В связи с этим данное уравнение регрессии можно рекомендовать как наиболее точную модель для целей прогноза урожайности трески. Корреляционный и регрессионный методы анализа взаимодействия факторов, а также другие методы анализа основанные на использовании аппарата математической статистики носят название *аналитических*. Существует широкий спектр компьютерных программ позволяющих быстро вычислять коэффициенты корреляции, строить уравнения регрессии и осуществлять более сложные аналитические действия. Среди них: надстройка «Пакет анализа» к программе Excel, специальные программные вычислительные пакеты Statistica 6.0, SPSS и др.

Современное распределение рыб в водоемах земного шара определяется условиями их жизни как в настоящее время, так и в предшествующие эпохи. Наибольшее видовое разнообразие рыб

достигается в экваториальной и тропической океанских зонах. В арктической области преобладают скорпеновые, терпуговые, лососевые виды, в бореальной – большинство тресковых, камбаловые, сельдевые, скумбриевые, в тропической – светящиеся анчоусы, летучие рыбы, корифеновые, парусниковые и т.д. Амфибореальное (прерывистое) распространение рыб имеет место, если одни и те же или близкие виды обитают в Атлантическом и Тихом океанах, но отсутствуют в Северном Ледовитом океане (сельдь, треска, навага, лосось, палтус и др.). Предполагают, что в теплые периоды эти рыбы имели единую область распространения (Арктика), но затем в результате похолодания погибли или в период потепления проникли из одного бассейна в другой. Биполярное распространение рыб наблюдается, когда сходные виды обитают в океанических водах Северного и Южного полушарий, но отсутствуют в тропической и экваториальной зонах (сардина, анчоус, морской окунь, сельдь, сельдевая акула и др.). Предполагают, что холодноводные рыбы северного происхождения проникли на юг через тропики в период похолодания тропических вод или через зоны больших глубин. Некоторые рыбы-космополиты широко распространены и встречаются во всех океанах (акула-катран). В то же время есть виды (эндемики), которые обитают только в определенных водоемах (голомянка – в оз. Байкал). Широтная зональность океанических вод может нарушаться под влиянием течений. Так, теплые течения позволяют продвинуться на север тепловодной фауне и, наоборот, холодные течения – на юг холодноводной фауне. В континентальных водоемах большое значение в распределении ихтиофауны имеет течение воды. Верховья рек, как правило, населены реофильными видами, приспособленными к обитанию в быстром потоке воды (форель, гольян, подкаменщик); в нижних участках с медленным течением обитают типично озерно-речные виды (лещ, окунь, судак и др.); в эстуарных участках рек, помимо пресноводных, встречаются солоновато-водные рыбы (речная камбала, бычки, колюшка и др.). Кроме рыб, обитающих в данном районе постоянно, в ихтиофауне рек существенную роль играют проходные рыбы (лосось и др.). Закономерности распределения рыб в крупных озерах схожи с таковыми в морях (донные, пелагические и другие виды), в озерах отсутствует глубоководная ихтиофауна (исключение – оз. Байкал).

Пресноводная ихтиофауна разделена на зоогеографические области, значительно отличающиеся по составу ихтиофауны. Выделяют следующее области: Палеарктическая (Евразия), Неоарктическая

(Северная Америка), Амурская, Китайско-Индийская (Сино-Индийская), Африканская (Эфиопская), Австралийская и Южно-Американская.

Таким образом, рыбы смогли адаптироваться к жизни в самых различных условиях водной среды. Поражает их способность приспособливаться к обитанию в экстремальных условиях – на дне океанов при колоссальном давлении, в высокогорных озерах на высотах более 4 000 м, в подземных пещерных водотоках и водоемах, в кратерах потухших вулканов, заполненных водой. В Южном океане, в морях, омывающих Антарктиду, рыбы сем. нототениевые приспособились обитать при температуре воды до -2°C ! Аналогичные способности демонстрируют некоторые рыбы из Северного ледовитого океана, например полярная сайка. В целом, основными факторами географического распространения рыб являются: глубины, температура, соленость, газовый режим водоемов. На континентах на распространение рыб существенно влияют механические преграды (горы, участки суши и т.д.), в океанах – материки, экологические факторы (температура, соленость, глубины и др.). В настоящее время на естественные границы географического распространения и численность рыб влияет также хозяйственная деятельность человека. Так, в результате акклиматизации в Белом море появилась горбуша (дальневосточный вид), в Каспийском море – азовская кефаль и т.д. Интенсивный промысел снизил численность и уменьшил ареал некоторых промысловых видов (перуанский анчоус, многие виды камбал и т.д.).

Рыбы приспособлены к передвижению как в текучей, так и в стоячей воде. Они в состоянии двигаться в воде различными способами и с разной скоростью. Поэтому общие пропорции тела рыб, строение их плавников и физиологические особенности адекватны условиям местообитания и образу жизни.

По форме тела рыб можно разделить на несколько основных типов. *Торпедовидный* тип свойственен наиболее хорошим пловцам, активно передвигающимся в толще воды. К этой группе принадлежат кефали, лососи, скумбрия, сельдевая акула и др. *Стреловидный* тип близок к предыдущему, но при этом тело рыб более вытянуто в длину, а непарные плавники отодвинуты назад. Такую форму тела имеют, например, щука и сарган. *Сплюснутый с боков* тип формы тела подразделяется в свою очередь на лещевидный, тип луны-рыбы и тип камбалы. *Змеевидный* тип – тело сильно вытянуто, при этом поперечный разрез почти круглой формы. Такую форму тела

имеют типичные обитатели зарослей – угри, морские иглы и др. *Лентовидный* тип – тело сильно вытянуто и сплющено с боков. Обладатели такой формы тела не могут развивать большой скорости перемещения. Характерным примером является сельдяной король *Regalecus* и некоторые другие рыбы. *Шаровидный* тип – тело имеет вид почти симметричного шара, хвостовой плавник развит весьма слабо. К этой группе принадлежат рыбы-кузовки, тетрадонты, пинагоры и др. *Плоский* тип формы тела имеют камбалы и донные акулообразные – скаты.

Прибрежная зона являются районом повышенной продуктивности и видового разнообразия. Здесь обитает молодь множества видов рыб, на дне типичными представителями являются донные виды (бычки, камбала, морские караси и др.). Фауна поверхностных вод океана (глубины до 200 м) отличается меньшим разнообразием по сравнению с прибрежной зоной, однако численность некоторых видов здесь значительно выше. Среди многих пелагических видов, как мирных, так и хищных, выражен стайный образ жизни (сайра, тунцы, летучие рыбы и др.). Пелагические рыбы, как правило, имеют стройную форму тела и выраженную окраску – серебристую или яркую цветную (рыбы коралловых рифов). Глубоководная ихтиофауна также достаточно разнообразна (около 2 тыс. видов рыб) и состоит из потребителей органической взвеси (светящийся анчоус, батилаги), потребителей беспозвоночных животных грунта (макруры) и типичных хищников (алепизавр, большерот и р.). Всех их разделяют на 2 группы:

- истинно глубоководные – имеют специальные приспособления для жизни на глубинах: органы свечения, телескопические глаза и т.д., обитатели больших глубин (сельдеобразные, угреобразные, трескообразные);

- шельфоглубоководные – не имеют специальных приспособлений для жизни на глубинах, встречаются в основном в пределах склона, не опускаются на глубины (окунеобразные, камбалообразные).

Глубоководная фауна количественно наиболее богата в верхних слоях батиали (от 200 до 3000 м), с глубиной обеспеченность пищей снижается и уменьшается общая биомасса рыб. Определено несколько сотен типично донных глубоководных видов рыб, имеющих соответствующие физиологические и морфометрические адаптации.

В связи с очень слабой освещенностью на глубинах более 300 м у глубоководных рыб выработался целый ряд адаптаций. Многие из них имеют глаза очень больших размеров, способные улавливать

малейшие отблески света. Например, у вида *Bathymacrops macrolepis* (Gilchrist) из сем. *Microstomidae* диаметр глаза может достигать 40 % от длины головы. Некоторые рыбы, обитающие в глубоководной сумеречной зоне, обладают способностью изменять форма зрачка глаза: он становится более продолговатым, его концы заходят за хрусталик, благодаря чему возрастает его светопоглощительная способность. Иногда в строении глаз появляется даже телескопичность или они располагаются на длинных стебельках, что позволяет значительно увеличить поле зрения. Отдельные виды (*Argyroleucus olfersii*) имеют в глазу даже специальный светящийся орган, поддерживающий сетчатку глаза в состоянии постоянного раздражения, тем самым повышается ее чувствительность к световым лучам низкой интенсивности. Установлено, что около 45 % рыб, населяющих глубины более 300 м, способны сами в большей или в меньшей степени излучать свет. Причем строение органов свечения может быть самым различным. Например, глубоководные рыбы семейства *Macruridae* имеют кожные слизистые железы, содержащие фосфоресцирующую субстанцию, излучающую слабый свет. Органы свечения обитателей сумеречной зоны могут иметь даже своеобразный рефлектор, позволяющий сфокусировать выделяемый свет в небольшой луч. Кроме привлечения добычи, выделение света глубоководными обитателями выполняет еще несколько важных для них задач. Среди них: привлечение особей другого пола в сезон размножения, отвлечение самцом хищника от самки, ориентация в стае и др.

Рыбы, обитающие на глубинах более 800–1000 м, где солнечный свет становится практически не различим, имеют упрощенное строение глаз, вплоть до их полного исчезновения (*Ipnoops*). Но, наряду с редукцией органов зрения, эти рыбы демонстрируют развитие различных выростов на теле: удлиняются лучи плавников или усики. Выросты служат органами осязания и в какой-то мере компенсируют утрату зрения.

Большинство видов рыб, обитающих в поверхностных, хорошо освещаемых солнечным светом слоях воды, имеют цветное зрение. В сумеречной зоне зрение становится черно-белым.

Рыбы, наравне с некоторыми китами и кальмарами, способны совершать весьма протяженные произвольные перемещения – миграции. Миграции рыб, как и других животных, включая сухопутных, – это обычно массовые, активные перемещения из одной части ареала в другую. Рыбы направляются в тот район, где они находят

оптимальные для себя условия среды на данной стадии своего жизненного цикла. Миграция является особым звеном в развитии особей, неразрывно связанным как с предшествующими, так и с последующими звеньями. По временному масштабу выделяют миграции суточные, сезонные, годовые. Исходя из своих мотиваций, миграции подразделяют на *нерестовые*, *нагульные* и *зимовальные*. Нерестовая миграция состоит в движении половозрелых рыб к местам размножения из районов кормежки или зимовки. В зависимости от направления движения половозрелых рыб нерестовые миграции подразделяют на *анадромные*, когда особи направляются из морских бассейнов для икрометания в реки (лососевые, корюшка, минюги и др.), и *катадромные*, при которых особи стремятся выйти на нерест из пресной воды в солоноватую или морскую (европейский угорь и др.).

Нагульная, или кормовая, миграция – это перемещения от мест размножения или зимовки к местам нагула (основного кормления). Зимовальная миграция свойственна рыбам, обитающим в субполярной и умеренной (бореальной) климатических зонах, с резко выраженными сезонными различиями гидрометеорологических условий. Заключается в перемещении от мест размножения или нагула к местам зимовки. Для обитания в зимний период рыбы внутренних и окраинных морей Европы, так же как и крупных пресноводных континентальных водных объектов, выбирают глубоководные районы с более высокой, чем у поверхности воды, температурой. Например, со второй половины осени из мелководного, быстро охлаждающегося Азовского моря через Керченский пролив массово уходят в Черное море кефаль и хамса. Далее они следуют вдоль побережья в юго-восточные районы Черного моря, где на глубинах от 50 до 100 м зимуют при относительно благоприятных температурных условиях. С наступлением весны и прогревом поверхностных водных масс, эти виды совершают обратную кормовую миграцию – многие из них покидают Черное море и направляются в более продуктивное – Азовское.

Примером нерестовой миграции могут являться сезонные перемещения донных рыб Балтийского моря. Здесь одними из основных объектов промысла являются крупные донные рыбы, такие как треска (*Gadus morhua callaries L.*), морская камбала (*Platessa platessa L.*), речная глубинно-нерестующая камбала (*Pleuronectes flesus L.*) и камбала-лиманда (*Limanda limanda L.*), принадлежащие к числу важных промысловых пород в водах Северной Атлантики

в целом. Треска и камбалообразные, обитающие в Балтике в периоды нереста, особенно требовательны к солености воды и содержанию растворенного кислорода. В связи с этим районы её нереста в Балтийском море расположены в придонных слоях глубоководных впадин, где отмечается повышенная солёность, необходимая для развития пелагических икринок и более постоянная температура воды. Однако недостаток кислорода в глубинных слоях приводит к ограничению нерестового ареала. Акватория, пригодная для нормального развития личинок трески, составляет около 27 % всей площади открытого моря. Основные нерестилища западно-балтийской трески располагаются в Арконской впадине, к северу от о. Рюген, в Мекленбургской бухте, Кильской бухте, а также в проливе Малый Бельт. Нерест осуществляется в феврале–марте в западных районах и в марте–апреле в районе Арконской впадины. Часть стада способна мигрировать для нереста в южную часть пр. Каттегат. Восточно-балтийская треска нерестится в Борнхольмской впадине, Слупском желобе, Гданьской и Готландской впадинах. Наибольшая плотность икры характерна для Борнхольмской впадины. Здесь поступление соленых североморских вод и соответственно аэрация придонных горизонтов нерестилищ наблюдается значительно чаще, чем в восточных и северо-восточных районах моря. В целом по морю появление максимумов численности икры и личинок трески связано с годами адвекции североморских вод.

Обобщение обширного теоретического и экспериментального материала по биологии и экологии трески и камбалообразных показало, что для донных балтийских рыб, обладающих океаническим происхождением, свойственны сходные приспособительные адаптации к жизни в солоноватых водах Балтийского моря. Успешное размножение донных рыб становится возможным только в придонных горизонтах глубоководных впадин моря в условиях повышенной солёности (не менее 11–12 ‰) и концентрации кислорода не менее 2 мг/л. При значительном снижении солёности, пелагическая икра трески и камбалообразных в силу определённых плотностных отношений опускается к дну, попадает в зону с дефицитом растворённого кислорода, и, как правило, погибает даже в случае предшествующего оплодотворения. Взрослые особи и молодь донных рыб способны нагуливаться в прибрежных высокопродуктивных районах при более низкой солёности. Достигнув половой зрелости в возрасте от 3 до 4 лет, особи трески и камбалообразных совершают в весенний период нерестовые миграции по направлению

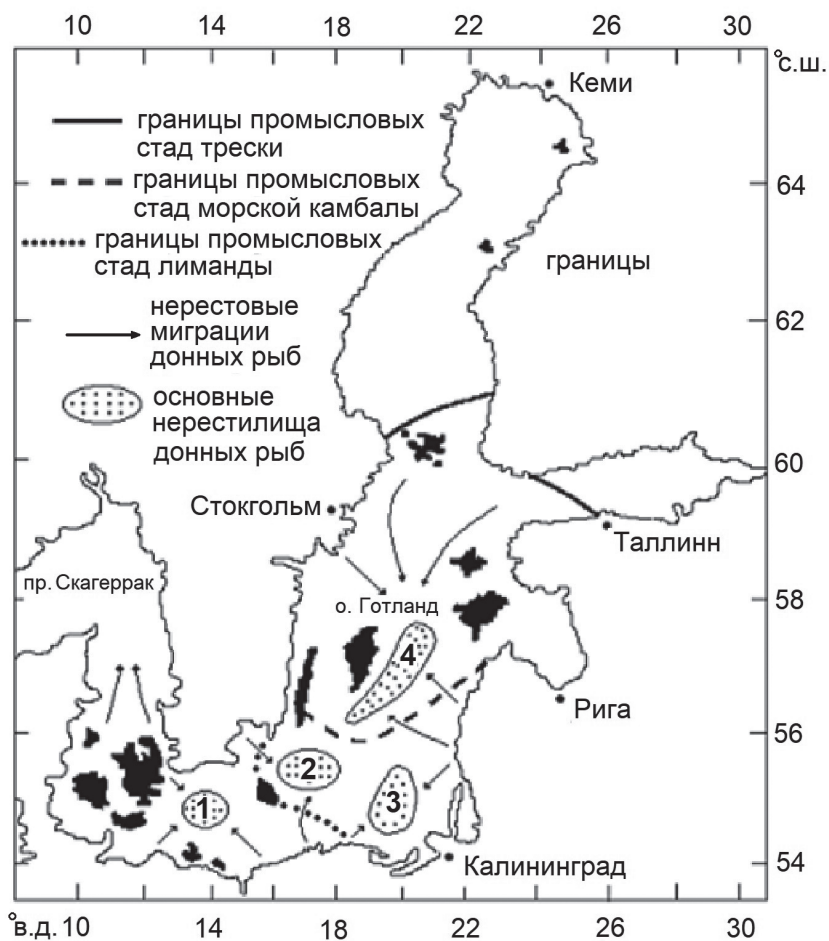


Рис. 2.4. Восточные границы промысловых стад донных балтийских рыб, расположение их основных нерестилищ и пути нерестовых миграций:
1 – Арконская впадина; 2 – Борнхольмская впадина; 3 – Гданьская впадина;
4 – Готландская впадина.

к нерестилищам, которыми являются глубоководные впадины центральных и южных районов моря. Крупнейшим нерестилищем является Готландская впадина. На рис. 2.4 показано расположение основных нерестилищ, пути нерестовых миграций и примерные восточные границы формирования промысловых стад донных рыб Балтийского моря.