

Александр Германович СЕЛЮКОВ –
доцент кафедры зоологии и ихтиологии
биологического факультета
Тюменского государственного университета,
кандидат биологических наук
Максим Николаевич ВТОРУШИН –
научный сотрудник кафедры зоологии и
ихтиологии биологического факультета
Тюменского государственного университета,
кандидат биологических наук
Павел Владимирович ИСАКОВ –
старший научный сотрудник отдела
эколого-сырьевых исследований
ФГУП СибрыбНИИпроект
Алексей Валерьевич КОЕВ –
ихтиолог госинспекции рыбоохраны
по Курганской области

УДК 591.16;591.8;597.5

ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ОРГАНОВ РЫБ РЕКИ ТУРЫ НА ПРИМЕРЕ ПЛОТВЫ – RUTILUS RUTILUS LACUSTRIS (PALLAS)

АННОТАЦИЯ. Исследовали состояние гонад, печени и жаберного аппарата у плотвы в р. Туре в районе г. Тюмени. В реке выше города нарушений не отмечено, а ниже города по течению установлены незначительные аномалии. Наибольшие патоморфологические изменения были выявлены в жаберном аппарате, печени и гонадах у плотвы в пределах городской черты.

The state of gonads, liver and gills was studied in Siberian roach of the Tura river in the region of the city of Tyumen. No anomalies were recorded in the upper flow of the river. Insignificant anomalies were found in fish down the stream. The highest level of anomalies were revealed in gills, liver and gonads of roach in the city limits.

Введение

В результате многофакторного антропогенного воздействия – химическое и тепловое загрязнение, гидростроительство, промышленное и бытовое водопользование, промысел – существенно трансформированы и находятся в угнетенном состоянии гидробиоценозы всех крупных и большинства малых рек и озер Обь-Иртышского бассейна. Основными загрязнителями являются нефтепродукты, пестициды, сульфаты, хлориды, нитраты и др. Загрязнены нефтепродуктами р. Тобол и ее притоки – Исеть и Миасс (11–12 ПДК), по ряду металлов существенно превышены ПДК: по меди в р. Ишим в 550 раз, по железу в р. Туре в 127 и т. д. [1]. Неослабевающий техногенный пресс привел к резкому сокращению численности большинства ценных видов промысловых рыб – осетровых и сиговых. Сибирский осетр внесен в Красную книгу МСОП и РФ, южные популяции нельмы – в подготовленную к печати Красную книгу Тюменской области и т. д. Являясь наиболее уязвимым элементом биосферы, водные экосистемы особенно чувствительны к различным проявлениям антропогенного воздействия. Так, у многих видов рыб из

различных водоемов Обь-Иртышского бассейна значительно возросло количество аномалий в состоянии жизненно важных органов [2–4]. Такие из них, как жаберный аппарат, печень и гонады достаточно чувствительны к загрязнениям и потому могут рассматриваться в качестве вполне надежного биоиндикатора состояния водной среды. Именно с этих позиций мы и рассмотрим их в настоящей работе.

Материал и методика

Изучение жизненно важных органов плотвы *Rutilus rutilus lacustris* (Pallas), типичного представителя карповых рыб в р. Туре, проводили в летний период 1991 г., в зимне-весенний и летне-осенний периоды 2001 г., летом и осенью 2002 г. Всего было изучено 57 экз. этого вида. Рыб отлавливали в р. Туре выше г. Тюмени (пос. Метелево), в центре Тюмени (у протоки из оз. Круглое) и ниже Тюмени (пос. Антипино (1991 г.) и пос. Мальково (2001–2002 гг.)).

Участки гонад, печени и жаберного аппарата фиксировали в смеси Буэна, дальнейшую обработку проводили по общепринятым гистологическим методикам [5]. После проводки через спирты возрастающей концентрации материал через хлороформ-парафин заключали в парафин. Серийные срезы толщиной 5–6 мкм окрашивали железным гематоксилином по Гейденгайну и анализировали под микроскопом *Biolar* (ок. 8^x; об. 10^x, 20^x, 40^x). Препараты фотографировали цифровой фотокамерой *Nicon Coolpix 885* при разрешении 3,21 Megapixels.

Результаты и обсуждение

Зимне-весенний период (январь-март)

Участок реки выше Тюмени (пос. Метелево).

В яичниках плотвы, находившихся в начале IIIа стадии зрелости, старшая генерация половых клеток вступала в фазу вакуолизации цитоплазмы. Основная масса половых клеток была представлена превителлогенными ооцитами (рис. 1), среди которых распределялись единичные гнезда оогоний и ооцитов стадий зиготены и пахитены (ооциты профазы I мейоза – ранние мейоциты, РМ). Каких-либо патоморфологических отклонений в состоянии гонад нами не выявлено. У отдельных самок половые железы находились в III завершенной стадии зрелости – в ооцитах завершался вителлогенез, и они вступали в период созревания.

Семенники большинства рыб находились во II стадии зрелости. Ампулы были хорошо развиты и заполнены сперматогониями (рис. 2), лишь у некоторых особей

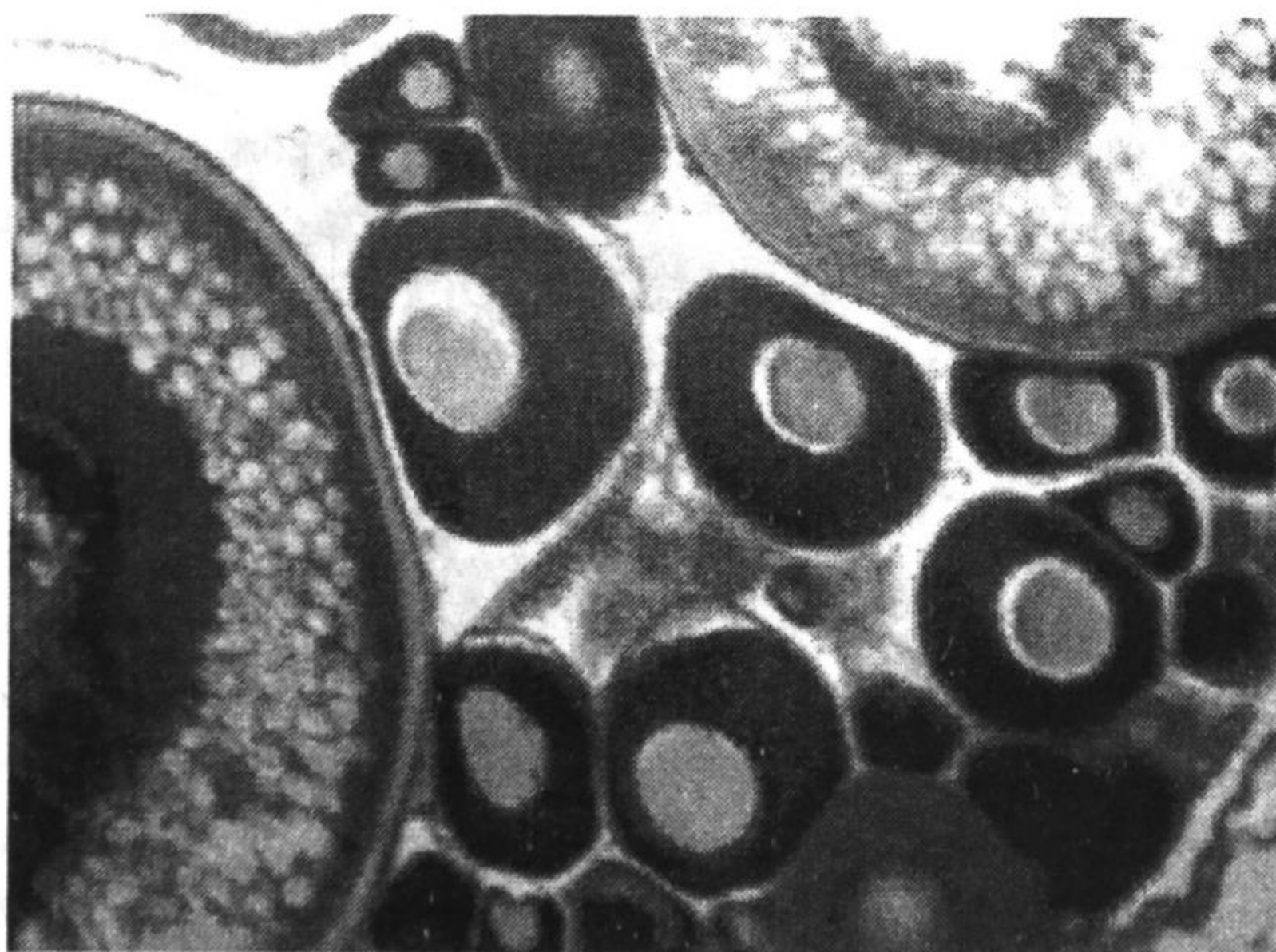


Рис. 1. Участок яичника III стадии зрелости; между ооцитами периода вителлогенеза располагаются многочисленные превителлогенные ооциты. Р. Тура у пос. Метелево. Январь. 2001 г. Увел.: ок. 5^x, об. 10^x

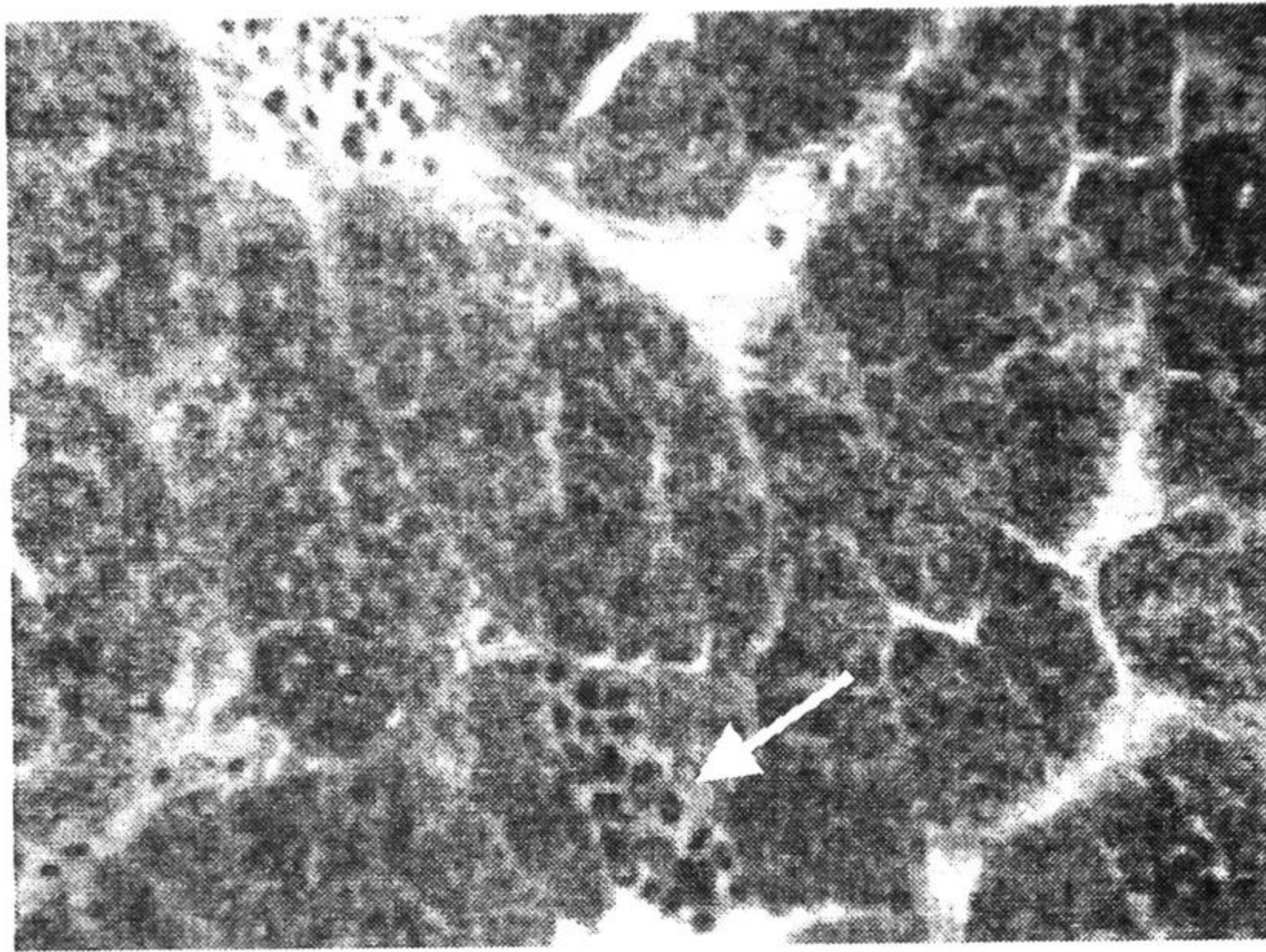


Рис. 2. Участок семенника III стадии зрелости; видны цисты сперматогоний и единичные цисты сперматид. Пос. Метелево. Январь. 2001 г. Увел.: ок. 5^x, об. 40^x

половые клетки были представлены сперматоцитами и, единично, сперматидами. Как и у женских особей, никаких патологических отклонений в состоянии гонад не было выявлено.

Состояние печени у самок и самцов также без патологий. В цитоплазме умеренно или слабобазофильных гепатоцитов присутствовали многочисленные липидные капли, у созревающих особей оттеснявшие ядра к периферии клетки.

Участок реки ниже Тюмени (пос. Мальково).

У половозрелых самок плотвы, отловленных в конце января у пос. Мальково, яичники находились в III завершенной стадии зрелости. Половые клетки старшей генерации вступали в период созревания, в процессе которого ядро смещалось к анимальному полюсу, и глыбки желтка начинали сливаться в крупные гранулы (рис. 3). Очередные генерации были представлены превителлогенными ооцитами, оогоний и РМ почти не отмечали. Отклонений в состоянии половых желез нами также не было отмечено. У неполовозрелых рыб яичники находились во II стадии зрелости – старшей генерацией были ооциты периода протоплазматического роста, между которыми встречались одиночные или небольшими группами оогонии и РМ. Как и у половозрелых особей, патоморфологических изменений в гонадах не отмечали.

Семенники находились в III стадии зрелости. Основная масса половых клеток была представлена сперматоцитами, но уже выявлялись группы сперматид. На-

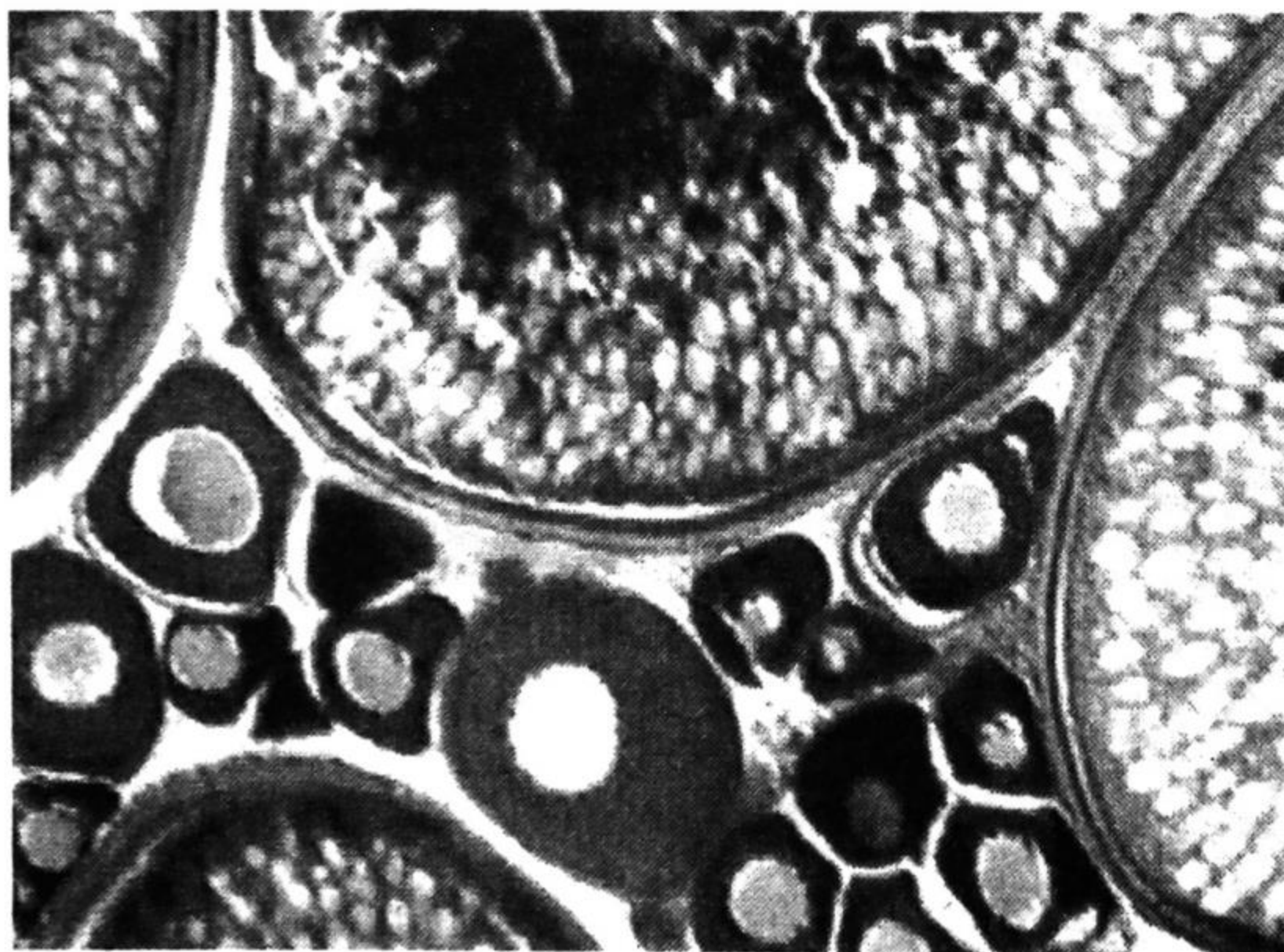


Рис. 3. В яичнике III стадии зрелости вителлогенные ооциты вступают в период созревания. Пос. Мальково. Февраль. 2001 г. Увел.: ок. 5^x, об. 10^x

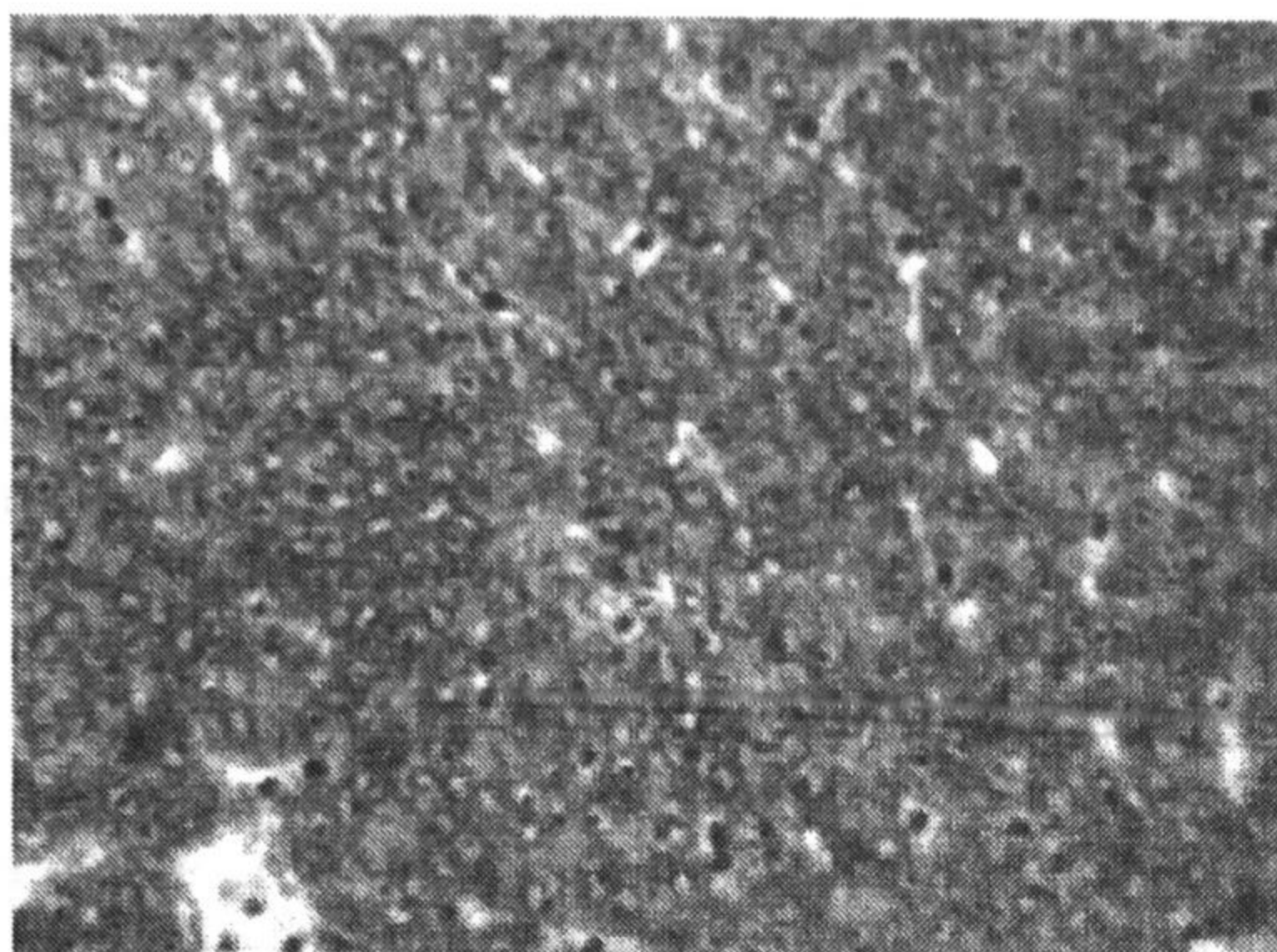


Рис. 4. В печени заметна слабая кавернозность.
Пос. Мальково. Февраль. 2001 г. Увел.: ок. 5^x, об. 20^x

блюдавшиеся у отдельных экземпляров нарушения в развитии гонад – в отдельных участках появлялись многочисленные ядерные пикнозы у сперматид – массового явления не носили.

Печень. Ткань печени у самок и самцов плотвы была слабо васкуляризована. В гепатоцитах присутствовали многочисленные липидные капли. У большей части рыб отмечалась слабая кавернозность печеночной паренхимы: на месте отдельных гепатоцитов или их групп образовывались пустоты, которые мы рассматриваем как следствие дегенеративных изменений. В отдельных участках органа данное явление хорошо идентифицируется. В целом же существенные нарушения отсутствовали – состояние органа можно было считать нормальным (рис. 4).

Участок реки в центре Тюмени.

В марте-апреле у плотвы, выловленной в р. Туре вблизи протоки, связывающей оз. Круглое с рекой, *яичники* находились в IV стадии зрелости. Ядра ооцитов мигрировали к анимальному полюсу, а цитоплазма была заполнена желточными гранулами – яйцеклетки вступили в период созревания. Очередные генерации половых клеток представлены немногочисленными ооцитами фазы вакуолизации цитоплазмы и периода превителлогенеза. Каких-либо аномалий в развитии яичников и ооцитов нами не выявлено.

У большей части самцов *семенники* находились в III стадии зрелости, а некоторые уже были готовы к нересту – их гонады перешли в IV стадию. У самцов с гонадами в III стадии зрелости основная масса половых клеток была представлена сперматогониями, наибольшее количество ампул которых находилось по периферии семенника, а также сперматоцитами (в центре гонады) и небольшим числом сперматид. Каких-либо патологий ни в состоянии гонад, ни в половых клетках нами не выявлялось. У рыб, семенники которых находились в IV стадии зрелости, в ампулах находились массы сперматид, а просветы семенных канальцев заполнялись спермиями. В стенках канальцев присутствовали немногочисленные ампулы сперматогониев и сперматоцитов I порядка.

Печень. В отличие от репродуктивных органов, в состоянии печени у части самок отмечались определенные отклонения. Почти у всех рыб в большей или меньшей степени проявлялись каверны – следствие деструкции гепатоцитов. В большей части клеток крупные многочисленные вакуоли оттесняли ядра к оболочке. В печени большинства самок ядерно-цитоплазматическое отношение смещалось в направлении ядра, что свидетельствовало о высокой функциональной активности гепатоцитов перед нерестом.

Состояние этого органа у *самцов* было сходным. Ткань печени слабо васкуляризована, цитоплазма гепатоцитов заполнена жировыми включениями, присут-

ствовали кавернозные участки. У некоторых особей в области печеночных протоков отмечали обширные зоны дегенеративных изменений. В печени у отдельных экземпляров присутствовали цисты паразитов. Цитоплазма гепатоцитов слабо-, реже – умеренно базофильна; много липидных капель, часто оттеснявших ядро к периферии клетки. Проходившая деструкция кариоплазмы сопровождалась резорбционными процессами в цитоплазме. Это явление достаточно широко встречается и оценивается нами в качестве начального процесса кавернизации печеночной паренхимы. В значительно меньшей степени оно отмечалось у Мальково и практически отсутствовало выше Тюмени, в районе Метелево.

Уже перечисленных особенностей печени и половых желез плотвы для характеристики воды р. Туры на обозначенном отрезке вполне достаточно, чтобы делать определенные заключения. Поскольку этот вид не является типичным мигрантом, хотя ему, как и ряду других речных рыб, свойственны незначительные перемещения в пределах ограниченного ареала, можно утверждать, что описываемые состояния органов у плотвы в подледный период являются показателем качества воды р. Туры именно в конкретной точке. Для полноты обзора проведены наблюдения в летне-осенний период годового биологического цикла, которые и приводятся ниже. Но уже из полученных данных можно заключить, что, как и следовало ожидать, наиболее чистым является участок Метелево, а зоной риска – река в центре Тюмени. Судя по состоянию печени и генеративных органов плотвы, вода в р. Туре в районе пос. Мальково не столь токсична, как в городской черте, и потому здесь условия существования могут считаться приемлемыми.

Летне-осенний период (август-сентябрь)

Участок реки выше Тюмени (пос. Метелево).

В августе у всех изученных особей плотвы в возрасте 3+-5+ каких-либо патоморфологических изменений состояния гонад нами не было установлено.

У всех самок яичники находились в III стадии зрелости – у небольшого количества рыб старшей генерацией половых клеток были ооциты фазы вакуолизации цитоплазмы, а у остальных проходил интенсивный вителлогенез. Очередными генерациями в яичниках были превителлогенные ооциты, между которыми в строме гонады и в контакте с герминативным эпителием локализовались гнезда оогониев и РМ.

Половые железы самцов находились во II стадии зрелости. Цисты сперматогониев заполняли ампулы гонады, отмечалось также незначительное количество функционально неактивных сперматогониев А-типа. В семенниках практически всех рыб в отдельных ампулах отмечались сперматоциты I порядка.

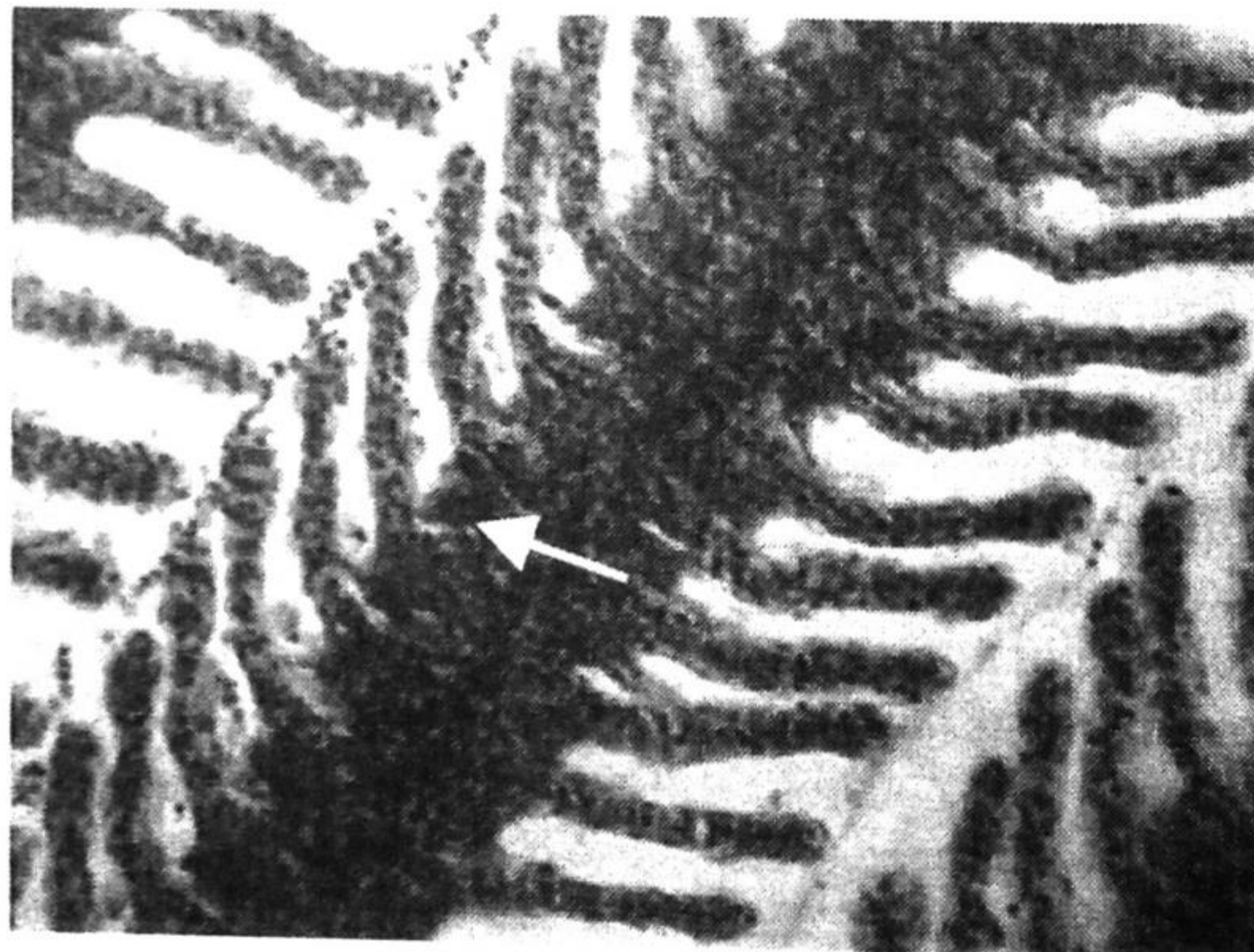


Рис. 5. Жабры без нарушений; хорошо развита афферентная зона (стрелка).
Пос. Метелево. Август. 2001 г. Увел.: ок. 5^x, об. 20^x

Печень у рыб обоих полов в целом без патологий: гепатоциты умеренно или слабобазофильны. У одних особей в их цитоплазме присутствовали многочисленные липидные капли, но у большинства жировые массы оттесняли ядра к периферии клеток. У нескольких мелких экземпляров в печени отмечали участки дегенерации.

Таким образом, за зимне-весенний и летний периоды в гонадах и печени изученных особей плотвы в р. Туре выше Тюмени нами не было выявлено каких-либо существенных отклонений. Рыбы благополучно отнерестились, к концу летнего периода у них прошла репарация половых желез, и для очередного полового цикла они резервировали в печени достаточное количество трофических ресурсов.

В качестве важного компонента целостной реакции организма на вызов со стороны окружающей его среды следует рассматривать эпителий афферентной и эфферентной зон *жаберного аппарата*.

У всех особей плотвы отмечалось нормальное развитие как отдельных элементов жаберного аппарата, так и всего органа в целом. Жаберные филаменты не имели патологических отклонений – искривлений, гипертрофии или дистрофии отдельных участков. Толщина афферентной зоны жаберного эпителия составляла 5–9 слоев эпителиальных клеток (рис. 5). Тонкие и удлиненные респираторные ламеллы соседних филаментов частично соприкасались друг с другом. Дистанция «кровь-среда» может считаться нормальной для этого вида [6]. Лишь в дистальных участках некоторых жаберных лепестков нарастало количество слоев клеток афферентной зоны, которыми и были закрыты респираторные ламеллы. На наш взгляд, данное явление можно отнести за счет защитной реакции организма на механические воздействия.

Таким образом, в р. Туре в районе пос. Метелево за период исследований в 2001 г. каких-либо устойчивых воздействий на организм плотвы, оцениваемых по гистологическому и цитологическому состоянию ряда жизненно важных органов, не было выявлено. Это позволяет нам констатировать в целом относительно благоприятную ситуацию в данном районе.

Участок реки ниже Тюмени (пос. Мальково).

В конце августа и начале сентября в *яичниках* трех-пятилетних самок плотвы, ельца и леща III стадии зрелости старшей генерацией половых клеток были вителлогенные ооциты, в которых только начинали формироваться желточные гранулы. Очередные генерации ооцитов находились на разных этапах превителлогенеза. Между ними и в тесном контакте с герминативным эпителием и резорбированными фолликулярными оболочками (от овулировавших яйцеклеток) отмечались многочисленные гнезда оогоний и ранних мейоцитов. У некоторых особей ооциты старшей генерации находились при завершении фазы вакуолизации.

В *семенниках* самцов II стадии зрелости основная масса половых клеток была представлена сперматогониями. Некоторые из них имели сравнительно крупные размеры (сперматогонии А-типа); также встречались единичные сперматоциты I порядка. Нарушений в структуре семенников и половых клеток, как это отмечалось в зимний период, не выявлялось.

Печень. Ткань печени у изученных рыб была слабо или умеренно васкуляризована. В цитоплазме большинства гепатоцитов присутствовали многочисленные липидные капли – свидетельство формирования трофического резерва. Отмеченная в зимний период у большей части плотвы слабая кавернозность печеночной ткани, как результат дегенеративных изменений органа, в летний период не проявлялась. Таким образом, у плотвы (а также у изученных особей ельца и леща) нарушения в печени в районе Мальково в летнее время отсутствовали.

В жаберном аппарате плотвы фиксировались незначительные патологические изменения, у части особей отмечали утолщения дистальных отделов жаберных филаментов и даже респираторных ламелл (р. л.), соприкасавшихся, переплетавшихся и местами, в основании лепестков, срастающихся с р. л. соседних филаментов. Количе-

ство слоев клеток жаберного эпителия варьировало от 4–5 до 6–10, р. л. увеличивались и истончались (рис. 6), что свидетельствовало о слаботоксичном влиянии водной среды на организм. Кроме того, такое воздействие проявляется в расположении на филamente респираторных ламелл ближе к основанию жаберного лепестка, где влияние водной среды проявляется в меньшей степени из-за окружающей жаберы слизи.

Следовательно, слабое токсическое действие воды на организм плотвы и других рыб в летний период в районе Мальково может быть оценено наиболее адекватно именно по состоянию жабр: характеру расположения и гистологической структуре клеток афферентной и эфферентной зон.

Участок реки в центре Тюмени.

Трех-четырёхлетние особи плотвы, выловленные в р. Туре у протоки из оз. Круглое в начале сентября, были половозрелыми.

В отличие от яичников, в семенниках плотвы, находившихся во II стадии зрелости, нарушений не отмечали. У них были хорошо сформированы семенные каналы, половые клетки представлены в значительной части сперматогониями А-типа.

Яичники находились в III стадии зрелости. В ооцитах старшей генерации начинали появляться желточные зерна. Очередные генерации половых клеток были представлены превителлогенными ооцитами. В строме встречались следы прошедшего нереста в виде дегенерирующих фолликулов. В контакте с ними и под герминативным эпителием формируются гнезда оогониев и ранних мейоцитов. У половины из изученных самок отмечалась атрезия ооцитов старшей генерации, местами значительная, что свидетельствует о явном патологическом отклонении в развитии половых желез. Известно, что ооциты фазы вакуолизации цитоплазмы наиболее чувствительны к гормональному сдвигу в организме, проявляющемуся, как правило, в условиях хронического загрязнения или сильных стрессорных факторов – высокие температуры, длительное голодание и пр. [7–9].

Таким образом, в отличие от зимнего, явно неблагоприятного, периода именно в летнее время отчетливо видны нарушения в репродуктивной системе женских особей. Отчасти это могло быть обусловлено их молодым возрастом в посленерестовый период, когда суммируются два мощных фактора: посленерестовая репарация гонад, требующая больших энергетических расходов от молодого организма [10], и также энергетические затраты на акклимацию к высокому уровню загрязнения.

Ткань печени васкуляризована. У рыб обоего пола в ней отмечают, в большей или меньшей степени, каверночки и каверны, отчего печень имела рыхлую структуру. Цитоплазма гепатоцитов умеренно или слабобазофильна, в ней присутствуют многочисленные липидные капли. Подобное состояние основного органа

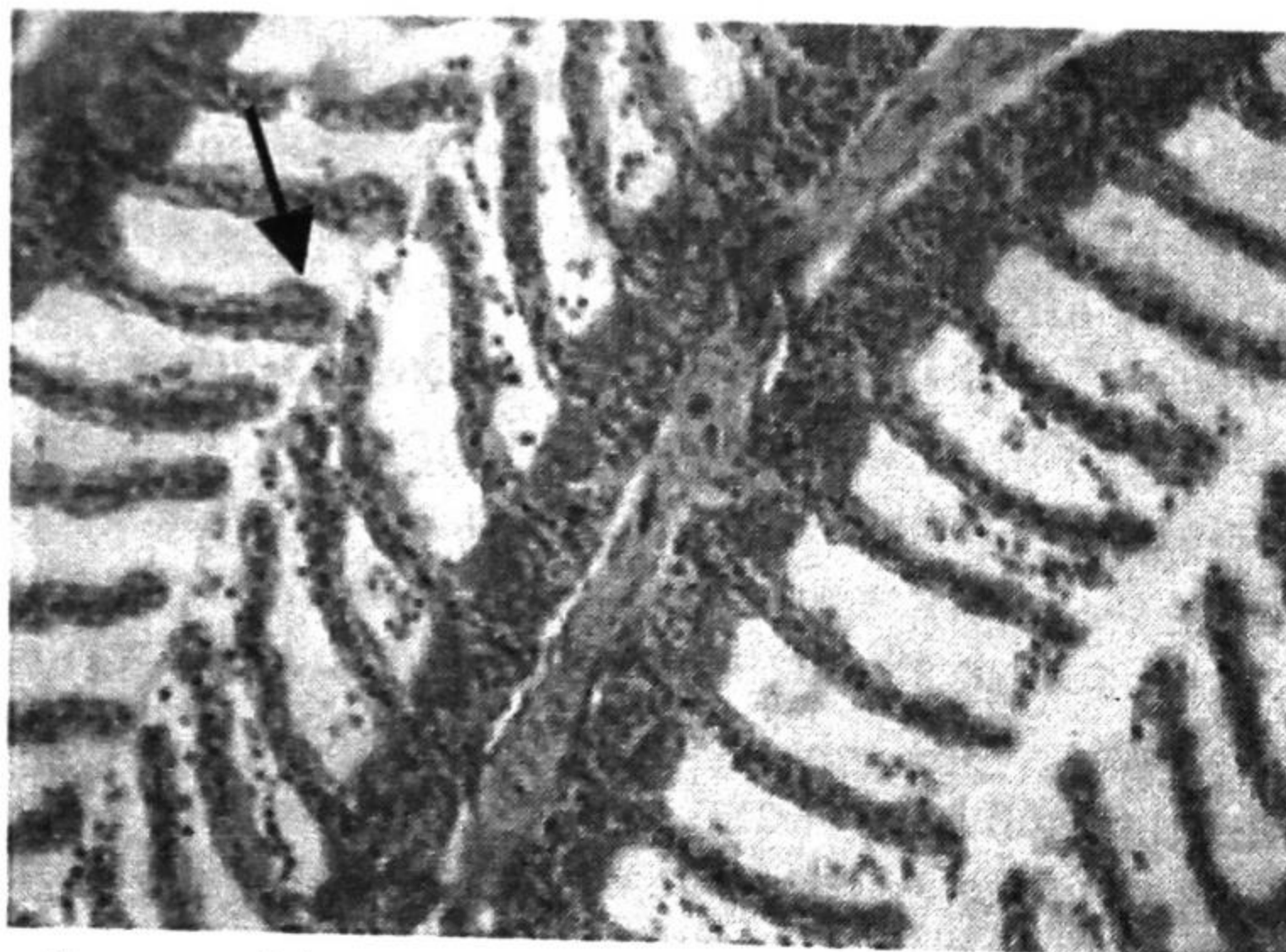


Рис. 6. Многослойность афферентной зоны понижена, одни респираторные ламеллы истончены, у других намечается «булавовидность» (стрелка).
Пос. Мальково. Август, 2001 г. Увел.: ок. 5^x, об. 20^x

детоксикации организма в предзимний период, когда особенно у самок на его долю приходится высокий уровень метаболической активности по накоплению трофических ресурсов для будущего нереста, несомненно, снижает резистентные возможности рыб. Это может привести к гибели организма в подледный период.

Можно уверенно утверждать, что в печени изученных рыб из р. Туры в центре Тюмени как в зимний, так и в летний периоды наблюдаются явные патологические изменения, являющиеся следствием повышенного уровня загрязнений в этом районе наблюдений.

Анализируя состояние *жаберного аппарата* плотвы в описываемом участке, отметим еще большие нарушения в морфологии его основных составляющих. У большинства рыб жаберный эпителий низкий – 4–5 слоев клеток. Вытянутые или обычной длины респираторные ламеллы были покрыты большим количеством респираторных клеток. А это свидетельствует о высокой потребности в кислороде. Незначительная толщина эпителия только подтверждает угнетенность дыхательной функции. В особенности это проявлялось в формировании одноклеточного эпителиального слоя, как бы чехлом охватывавшего жаберные лепестки, формировавшие дополнительный барьер, препятствующий интоксикации со стороны окружающей среды. Но одновременно и снижавший респираторные возможности организма. У некоторых рыб этот «чехол» отсутствовал, количество слоев жаберного эпителия возрастало, но и увеличивалась толщина афферентной зоны в дистальных отделах жаберных лепестков.

Как можно видеть, жаберный аппарат у рыб является наиболее чувствительным органом, в первую очередь воспринимавшим воздействие окружающего фона. И зимой, и летом он находится в состоянии высокого функционального напряжения, вызванного загрязнением, а в подледный период – и дефицитом кислорода. Можно думать, что его реабилитационный потенциал, как это видно по состоянию его элементов, близок к исчерпанию.

Мы сопоставили полученные данные с результатами анализа этих же органов, полученных на карповых рыбах – плотва, елец, лещ – в летний сезон 1991 г. в тех же точках р. Туры (ниже Тюмени изучалась ихтиофауна в районе пос. Антипино). Следует отметить продолжавшуюся тенденцию ухудшения их состояния. За десятилетний период описываемые параметры у рыб в районе Метелево несколько ухудшились. Ниже Тюмени, в районе Мальково, очевидно, происходило некоторое самоочищение реки, т. к. нарушений органов, отмеченных нами в 1991 г. у Антипино (рис. 7, 8), здесь уже не обнаруживали. В центральной же части (Тюмень) характер и глубина нарушений в отношении репродуктивной функции самок и жаберного аппарата у рыб обоих полов только усилились.

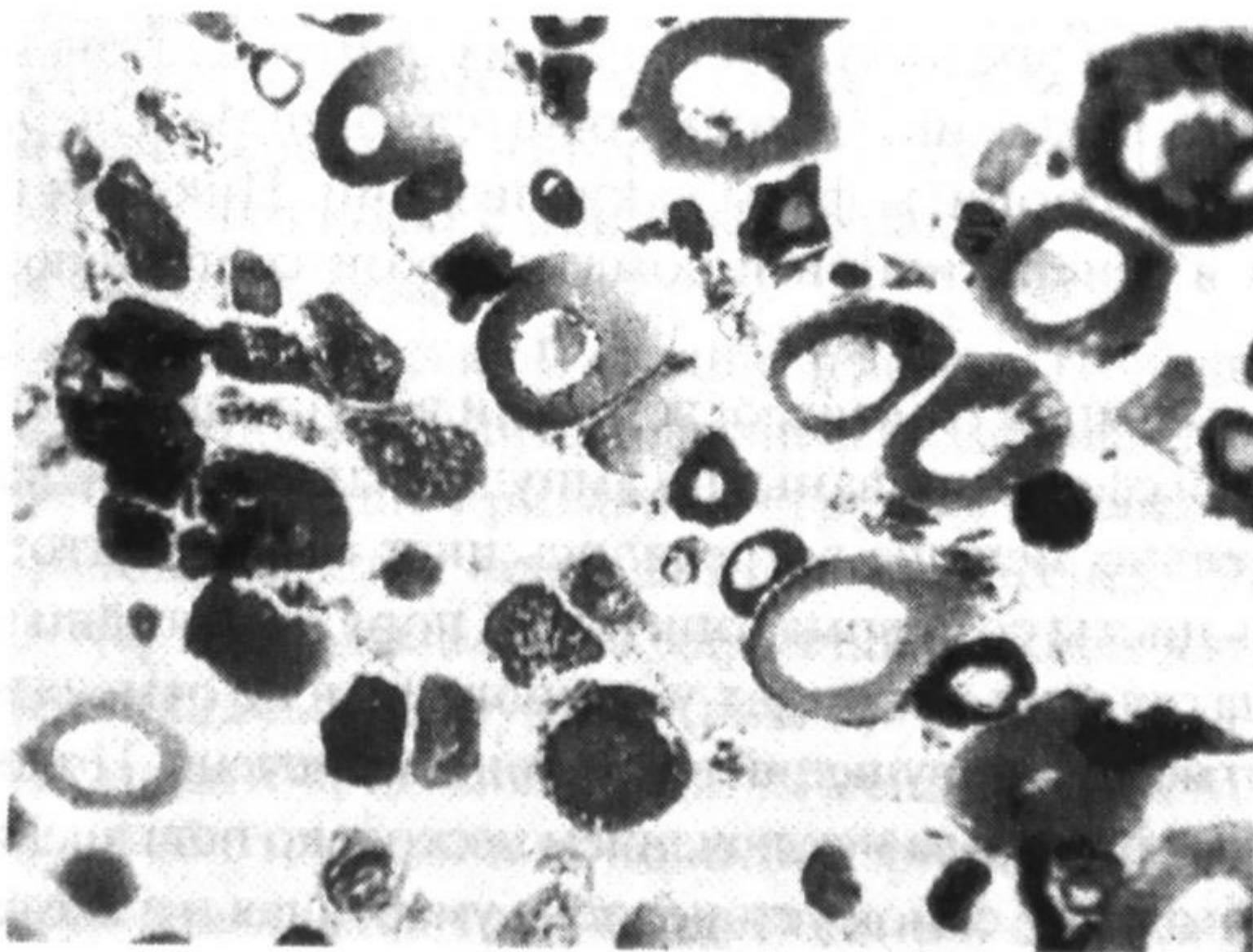


Рис. 7. Участок яичника с дегенерирующими превителлогенными ооцитами.

Пос. Антипино. Июль. 1991 г. Увел.: ок. 5^x, об. 8^x

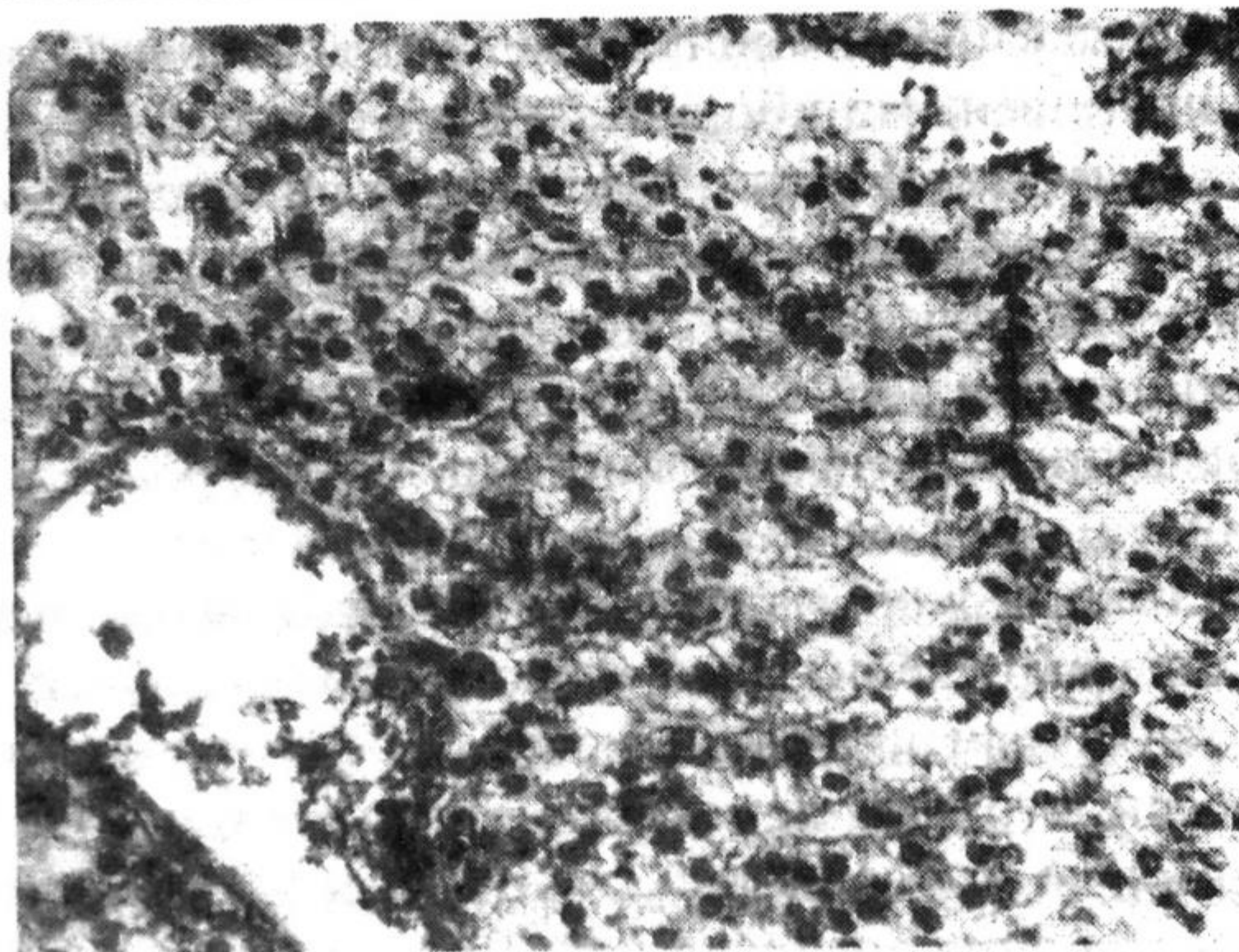


Рис. 8. Жировая дистрофия печени, дегенерация гепатоцитов и расслоение органа. Пос. Антипино. Июль. 1991 г. Увел.: ок. 5^x, об. 40^x

Состояние жизненно важных органов рыб в р. Туре в предзимний период 2002 г.

Проведенный анализ некоторых органов плотвы в 2001 г. продемонстрировал такие их морфофункциональные особенности, которые могут считаться вполне надежным и наглядным индикатором состояния водной среды, но и позволил установить высокий уровень напряжения, оказываемого этой самой средой на рыб. Кроме того, необходимо было установить, насколько устойчивы отмеченные в исследуемый период состояния изучавшихся органов. Для этой цели было проведено повторное их исследование у типичных представителей ихтиофауны р. Туры именно в предзимний период. Нами 15–20 сентября 2002 г. в р. Туре был проведен отлов сибирской плотвы, сибирского ельца и по несколько экземпляров язя, леща и окуня с последующим детальным исследованием жаберного аппарата, печени и гонад. Здесь приводится их состояние у плотвы.

Характеристика указанных органов в предзимний период является важнейшим индикатором успешности предстоящей зимовки, предъявляющей повышенные требования к функциональным системам организма, отвечающим за его успешное существование в зимнее время со всем комплексом негативных условий подледного периода.

Участок реки выше Тюмени (пос. Метелево).

Как показали наши исследования в 1991–2001 гг., этот район г. Тюмени, находящийся выше основного промышленного и жилищного массива, является наиболее чистым. Отловленных здесь рыб можно рассматривать в качестве контрольных.

В яичниках III стадии зрелости у 4–5-летних самок плотвы ооциты старшей генерации находились в фазе интенсивного вителлогенеза. Очередной генерацией половых клеток были ооциты фазы вакуолизации. Никаких патоморфологических отклонений в генеративной и соматической составляющих яичника не отмечено.

У всех изученных самцов семенники вступали в III стадию зрелости. Семенные каналцы еще не были сформированы, но ампулы были заполнены сперматогониями Б-типа; значительно меньше встречалось цист со сперматогониями А-типа. Изредка отмечались цисты со сперматоцитами I порядка (стадии зиготены). Как и у женских особей, патологий в гонадах у самцов нами не отмечалось.

Также не было отмечено нарушений в гепатоцитах печени. Половой специфики в состоянии печени не выявлено, за исключением несколько повышенной васкуляризации этого органа у самцов. У самок установлена умеренная и даже слабая базофилия цитоплазмы, обусловленная относительно большим количеством жировых вакуолей, но не отклоняющемся от нормы. Наличие жира в цитоплазме – необходимое условие

для разрешения трофических проблем организма в зимний период, некоторое его преобладание у самок является следствием интенсивного вителлогенеза.

Состояние у плотвы *жаберного аппарата* в этой части реки также можно считать нормальным. Жаберный эпителий афферентной зоны представлен 9–12 рядами клеток.

Таким образом, каких-либо существенных патологий в репродуктивной системе, печени и жабрах у плотвы в данном участке реки не выявлялось.

Участок реки ниже Тюмени (пос. Мальково).

Яичники двух-четырёхлетних особей плотвы находились во II и III стадиях зрелости. По периферии яйценосных пластинок и между превителлогенными ооцитами отмечали много гнезд молодых генераций, главным образом ооцитов стадии диплотены. Пополнения фонда половых клеток уже не происходило, а молодые ооциты являлись результатом высокой формационной активности яичника в летний период. Нарушения в гонадах отсутствовали.

Основная масса половых клеток *семенников* II и начала III стадии зрелости у плотвы представлена мелкими, функционально активными сперматогониями Б-типа. Цисты с крупными, покоящимися сперматогониями А-типа встречались редко. Появлялись цисты со сперматоцитами I порядка. Нарушения в состоянии половых клеток всех генераций и в интерстициальной ткани гонад отсутствовали.

Таким образом, ни в генеративной, ни в соматической составляющих половых желез плотвы из р. Туры у Мальково не выявлено никаких патоморфологических проявлений, что в целом может быть оценено как нормальное протекание гаметогенеза в предзимний период. А весенний нерест при сохранении и зимой данной тенденции должен пройти успешно.

Состояние паренхимы *печени* и гепатоцитов у плотвы обоих полов сходно. Она слабо васкуляризована, в гепатоцитах много липидных капель, что необходимо организму в период интенсивного вителлогенеза и в преддверии зимнего сезона. У большинства рыб печень не имела явных патологических изменений, но у двух особей в этом органе отмечались зоны дегенерации гепатоцитов и разрастание участков соединительной ткани.

Более чем у половины изученных рыб обоего пола состояние *жаберного аппарата* без патологий. 6–8 рядов клеток афферентной зоны в средней части жаберного лепестка увеличивались до 12–14 рядов к терминальным участкам. Респираторные ламеллы в средней части филамента почти вдвое выше афферентной зоны, но на концах жаберных лепестков почти не поднимались над эпителием. Среди клеток афферентной зоны встречались соединительнотканые тяжи, наблюдались участки гиперплазии – реакция на интоксикацию. Дегенерация клеток эпителия вблизи базальной пластинки приводила к их отслаиванию от филамента. Апикальные участки респираторных ламелл разбухали, а сами ламеллы сливались между собой или с ламеллами соседних жаберных лепестков. В целом нарушения достаточно отчетливые, однако носят единичный характер.

Участок реки в центре Тюмени.

Яичники у самок находились во II стадии зрелости. Половые клетки были представлены превителлогенными ооцитами разных размерных групп. Множество превителлогенных ооцитов средней размерной группы дегенерировало, что в норме не типично для половых клеток периода превителлогенеза [9]. Ядерная оболочка теряет типичные очертания, сжимается, ядрышки выходят в кариоплазму, оболочки отстают от цитоплазмы и набухают (рис. 9). Отмечались молодые генерации превителлогенных ооцитов, но гнезд ранних мейоцитов (PM) не было выявлено, что свидетельствует об отсутствии пополнения фонда половых клеток.

Основная масса *семенников* трех-четырёхлетних самцов была заполнена мелкими сперматогониями Б-типа, редко появлялись ампулы сперматоцитов I и II порядка. Встречались группы дегенерирующих сперматоцитов.

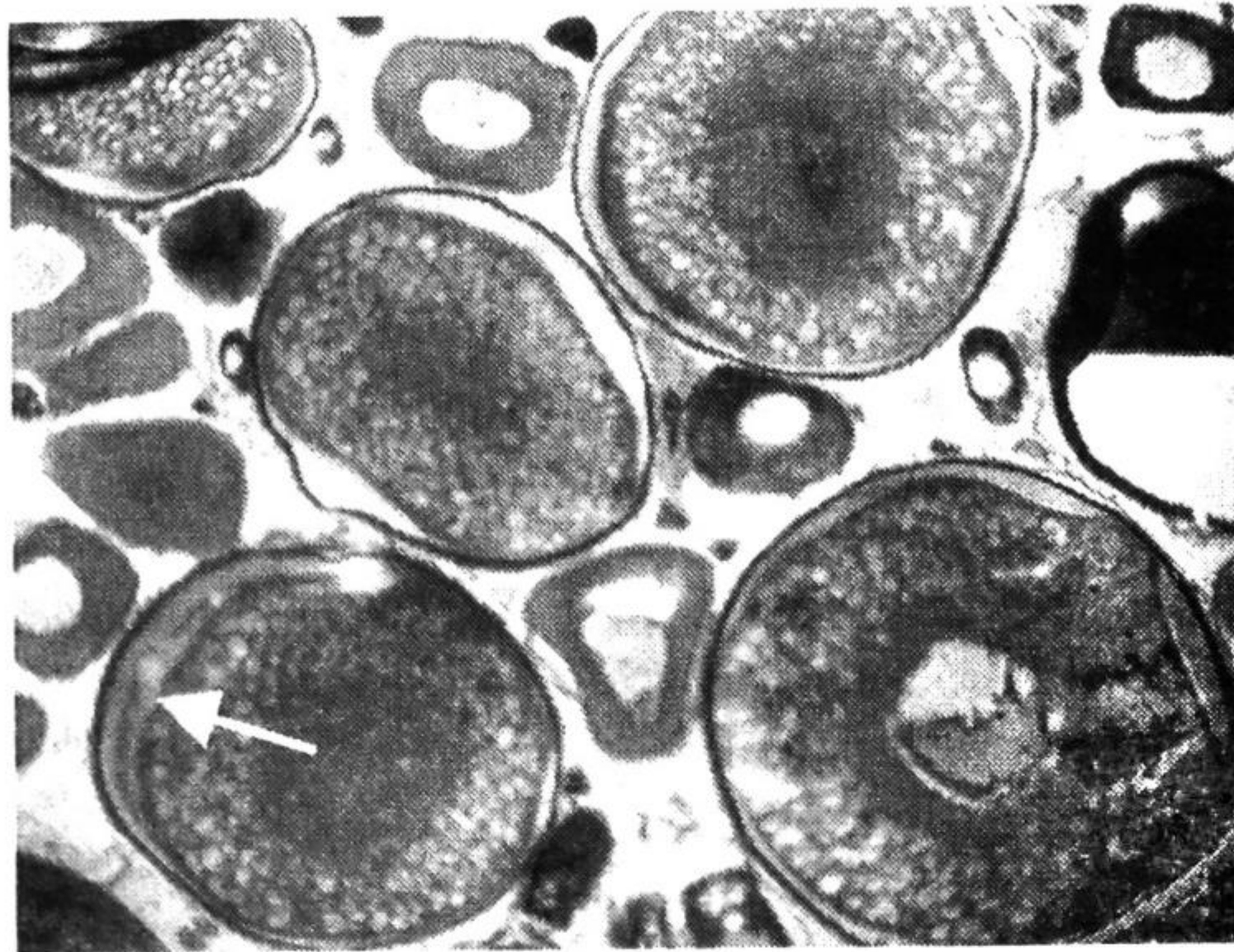


Рис. 9. Дегенерация вителлогенных ооцитов, заметны участки отслаивающейся цитоплазматической оболочки (стрелка).
Р. Тура в центре Тюмени. Сентябрь. 2002 г. Увел.: ок. $5\times$, об. $10\times$

У большинства особей в печени были значительные дегенеративные изменения. На обширных участках органа располагались мощные тяжи рубцующейся соединительной ткани, замещающей печеночную паренхиму (рис. 10). Обширные каверны были заполнены кровью.

Наиболее существенные отклонения отмечали в морфологии жаберного аппарата. У одних рыб деструктивные процессы проявлялись в уменьшении числа слоев афферентной зоны, у других – в истончении жаберных лепестков, дегенерации эпителиальных клеток и, наоборот, значительном увеличении рядности афферентной зоны. При этом респираторные клетки местами достигали больших размеров, что хотя бы отчасти решало проблему кислородного дефицита из-за резкого снижения размеров ламелл. В афферентной зоне дегенерировали эпителиальные клетки и эритроциты. Наконец, у рыб третьей группы можно выделить еще один способ выживания в подобных условиях. Респираторные ламеллы оказывались тесно сближены (рис. 11). В утолщенных апикальных участках жаберных лепестков часто отмечались волокнистые структуры, закрывающие собой терминали жаберных филламентов. Поступление воды с поллютантами к этим участкам жабр перекрывалось и снижалась вероятность интоксикации через них организма в целом, но, с другой стороны, он становился подвержен гипоксии, что и приводило к дегенерации жаберного эпителия (рис. 12).



Рис. 10. Тяжи соединительной ткани, замещающие печеночную паренхиму.
Р. Тура в центре Тюмени. Сентябрь. 2002 г. Увел.: ок. $5\times$, об. $10\times$



Рис. 11. Истонченные жаберные ламеллы местами срастаются между собой.
Р. Тура в центре Тюмени. Сентябрь. 2002 г. Увел.: ок. 5^х, об. 10^х

Какая из рассмотренных стратегий предпочтительна в столь экстремальных условиях? По-видимому, ни одна. Гибель от токсикантов вряд ли выгодней гибели от медленного удушья, предпринимаемой организмом для защиты от отравления. Ни одна не дает гарантий достичь полового созревания и оставить потомство. Но принимая вторую стратегию, организм сохраняет возможность регулировать степень поступления токсикантов через жабры частичным выводом из респираторной активности отдельных групп жаберных лепестков, функционируя в режиме «щадящего» взаимодействия с агрессивной средой.

Заключение

Таким образом, нарушения состояния жизненно важных органов у плотвы в разных участках р. Туры в пределах Тюмени, выше и ниже по течению можно классифицировать следующим образом. Наиболее чувствительным органом на размеры и характер загрязнений является жаберный аппарат, как непосредственно связанный с окружающей средой. Патологии, в нем проявляющиеся, можно рассматривать в качестве следствия коррекции морфофункциональных изменений адаптационного характера – от изменения длины респираторных ламелл, увеличения толщины афферентной зоны (дистанции «кровь-среда»), количества и размеров респираторных клеток, до формирования «коркового слоя» на поверхности жаберных лепестков как морфологического барьера, препятствующего интенсивному отравлению.

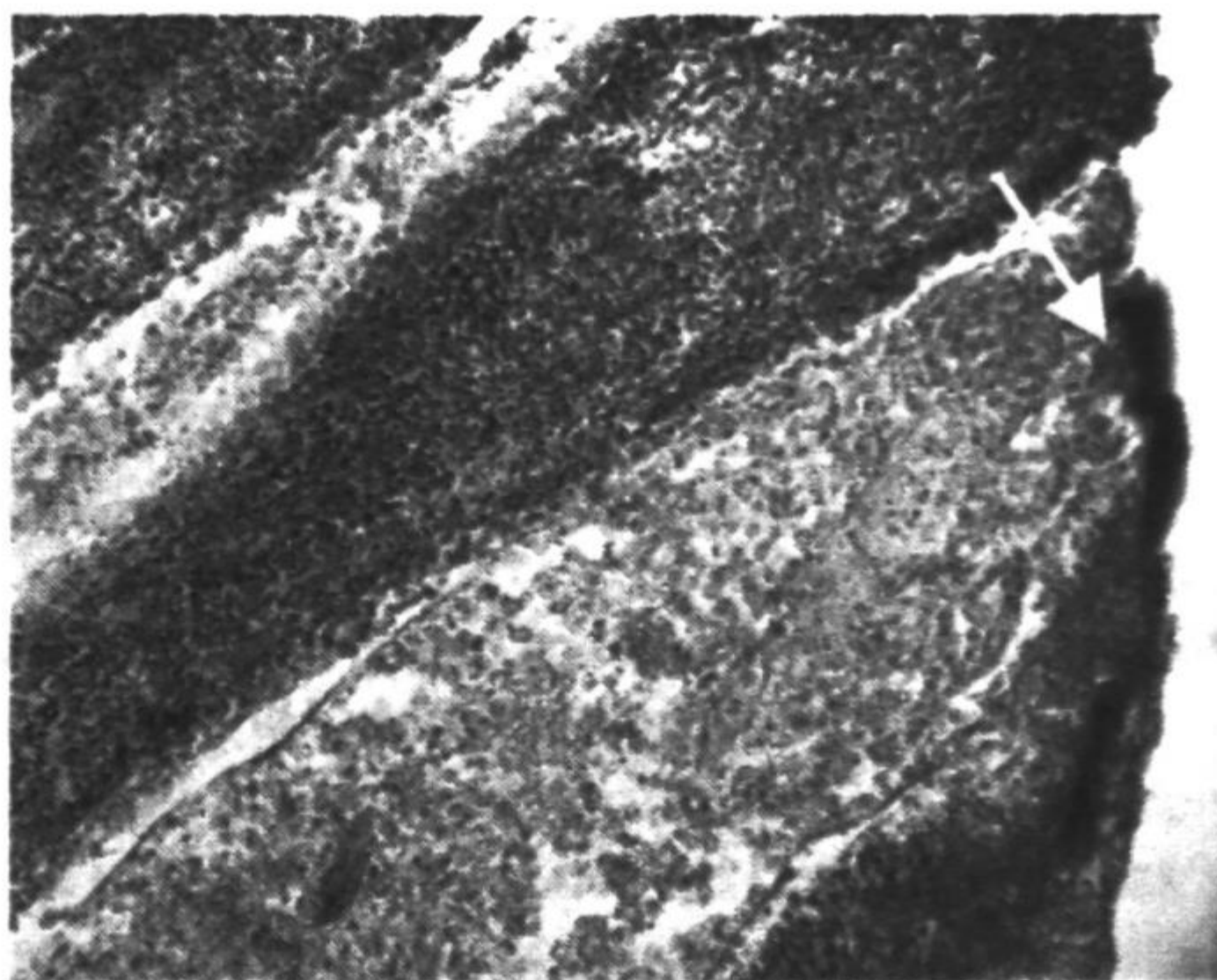


Рис. 12. Дегенерация жаберного эпителия с образованием плотной «корки» (стрелка) приводит к полной утрате структуры.
Р. Тура в центре Тюмени. Сентябрь. 2002 г. Увел.: ок. 5^х, об. 40^х

По степени ответа на токсичность среды следующей системой, из числа рассмотренных, является печень – основной орган метаболизма и детоксикационных возможностей организма. Как и в жаберном аппарате, у плотвы из района Метелево каких-либо отклонений в печени не выявлялось. Меньше они были и у плотвы ниже Тюмени по течению (пос. Мальково). Учитывая важность этой системы в подготовке самок к нересту, можно констатировать нормальное завершение вителлогенеза у плотвы из указанных точек в зимний период. Чего нельзя сказать об условиях существования этого и других видов в р. Туре в черте города.

Наиболее защищенной от внешних воздействий системой является репродуктивная. Она становится подверженной им лишь опосредованно, через нарушение гормонального статуса организма или вследствие его общей интоксикации – через кровь. Потому нами не отмечено каких-либо нарушений гонад у плотвы из районов выше и ниже Тюмени по течению, но определенные нарушения состояния репродуктивной функции у самок и самцов из р. Туры в центральной части города выявлены. Кроме того, отмечена резорбция даже превителлогенных ооцитов – половых клеток, характеризующихся т. н. негормонозависимым периодом регуляции метаболизма. А это лишний раз подтверждает, что в воде р. Туры в данном районе присутствуют биоциды: тяжелые металлы, фосфорорганические соединения, инсектициды и т. д. Отсутствие подобных нарушений ниже Тюмени объясняется, с одной стороны, оседлым характером жизни плотвы, с другой – недостижением района Мальково основной части поллютантов, возможностью их осаждения на дне, концентрацией в иле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор. Экологическое состояние, использование природных ресурсов, охрана окружающей среды Тюменской области // Гос. комитет по охране окр. среды Тюм. обл. Тюмень, 1999. 177 с.
2. Селюков А. Г., Мосеевский А. С., Коев А. В., Токарев И. Н. Состояние жизненно важных органов сиговых рыб в условиях интенсивного загрязнения Оби и проблема сохранения их биопотенциала // Тез. докл. V Всеросс. совещ. по биол. и биотехн. развед. сиговых рыб. М., 1994. С. 125–127.
3. Селюков А. Г. Репродуктивная система сиговых рыб (Coregonidae, Salmoniformes) как индикатор состояния экосистемы Оби. I. Половые циклы пеляди *Coregonus peled* // Вопр. ихтиологии. 2002. Т. 42. № 1. С. 85–92.
4. Селюков А. Г. Репродуктивная система сиговых рыб (Coregonidae, Salmoniformes) как индикатор состояния экосистемы Оби. II. Половые циклы муксуна *Coregonus muksun* // Вопр. ихтиологии. 2002. Т. 42. № 2. С. 225–235.
5. Ромейс Б. Микроскопическая техника. М.: Иностранная литература, 1953. 718 с.
6. Матей В. Е. Функциональная морфология жаберного эпителия пресноводных костистых рыб // Физиология, биохимия и токсикология пресноводных животных. Л.: Наука, 1990. С. 104–141.
7. Фалеева Т. И. Сравнительный и экспериментальный анализ нарушения оогенеза у рыб: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Л.: Изд-во ЛГУ, 1979. 24 с.
8. Фалеева Т. И. Результаты экспериментального анализа нарушений оогенеза у рыб // В кн.: Проблемы надежности функционирования репродуктивной системы у рыб. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. Тр. Биол. НИИ.
9. Guraya S. S. The cell and molecular biology of fish oogenesis. Karger, 1986. 223 p.
10. Кошелев Б. В. Экология размножения рыб. М.: Наука, 1984. 309 с.