

Миграции и перемещения рыб в системе "русловая яма – река"

Проведены исследования в бассейне Нижнего Иртыша на устьевом участке р. Конда, где расположена одна из крупных зимовальных русловых ям; изучены закономерности распределения рыб на различных участках реки в период интенсивных весенних миграций – перемещений рыб вниз и вверх по течению в системе "русловая яма – река"; установлены направленность и интенсивность перемещений, размерный ряд рыб как на стрежне, так и в прибрежье водотока. Мигрирующих рыб круглосуточно регистрировали при их прохождении через контролируемые сечения реки гидроакустическим методом с помощью комплексов NetCor. Гидроакустическая съемка выполнена одновременно на различных участках реки в поперечном направлении (стрежень, прибрежье). В результате исследований установлено, что перемещения рыб на различных участках и в различных направлениях имеют высокие значения коррелятивной связи, свидетельствующие о высокой активности рыб в весенний период. В численном отношении доминируют рыбы, мигрирующие вверх по течению. Отмечено численное преобладание рыб, перемещающихся в зоне прибрежья, в сравнении с расположенным на стрежне участком реки (более чем в 2,5 раза). В прибрежье среди поднимающихся и скатывавшихся мигрантов преобладали рыбы средних и малых размеров (<20 см), а на стрежне доминировали более крупные особи (>35 см). Кластерный анализ подтверждает различие зон прибрежья и стрежня на основе размерной структуры мигрантов. Выявленные закономерности отражают механизм снижения энергетических затрат и оптимального распределения рыб в потоке реки в период миграции.

Ключевые слова: распределение рыб, миграция, перемещение, поток, гидроакустическая съемка.

Введение

В Обь-Иртышском бассейне сосредоточено большое количество водоемов различных типов, играющих определенную роль в процессе онтогенетических изменений рыб. На протяжении своей жизни рыбы совершают частые миграции (перемещения) между такими местообитаниями, выполняющими одну или несколько функций. Рыбное население Нижнего Иртыша представлено весенне- (карповые, окуневые, щуковые, осетровые), зимне- (налимовые) и осенне-нерестующими (сиговыми) видами рыб. К ценным видам рыб Нижнего Иртыша в районе устья р. Конда относятся сибирский осетр, стерлядь, нельма, муксун и пелядь.

В период ледостава рыбы различных возрастов и семейств (прежде всего карповые, окуневые, сиговые и осетровые виды рыб) образуют значительные концентрации (скопления) на наиболее глубоких участках Иртыша, называемых русловыми зимовальными ямами. Согласно данным, изложенным в работах [1; 2], здесь создаются благоприятные гидродинамические и гидрохимические условия [1] в период зимнего "замора" (дефицита растворенного в воде кислорода), который происходит вследствие поступления воды притоков, богатой органическим веществом (с болотной площади водосбора).

В период весеннего паводка после распаления льда происходит затопление больших пойменных площадей пойменно-руслового комплекса рек, где интенсивно развивается зообентос и зоопланктон. С повышением уровня воды происходит значительное перераспределение рыб в водотоках: представители всех массовых видов рыб устремляются из основного русла реки Иртыш в ее притоки и пойму для нереста и нагула [1; 2].

Материалы и методы

Работа выполнена в период 1–10 мая 2015 г. на устьевом участке р. Конда в Ханты-Мансийском районе ХМАО (Югра, Тюменская область); координаты 60°42'26.38" с. ш., 69°40'15.23" в. д. В ходе исследований использовались компьютеризированные гидроакустические комплексы NetCor, устанавливаемые стационарно с помощью якорей. Запись перемещения рыб, поднявшихся в р. Конда и скатившихся обратно в р. Иртыш, велась круглосуточно двумя модулями (один раз в три дня производилась замена аккумуляторных батарей). Первый гидроакустический комплекс NetCor был установлен ближе к прибрежной зоне левого берега (глубина ≈ 3 м, $V_{\text{течения}} = 1\text{--}1,1$ км/ч), второй – ближе к стрежню реки (судовому ходу) (глубина ≈ 5 м, $V_{\text{течения}} = 1,7\text{--}1,9$ км/ч) (рис. 1).

Площадь контролируемого сечения реки на каждом из модулей составила 34,9 м². Гидроакустические съемки сопровождалась контрольным ловом рыбы ставными и плавными разноячейными сетями (24–38 мм) пятиметровыми отрезками с шагом ячеи 2 мм; длина ставной сети 40 м, длина плавной сети 60 м, высота 2 м. Скорость течения определяли речной вертушкой. Статистическую обработку данных выполняли с помощью программы Statistica 10 Statsoft. Исследование

нормальности распределения численных показателей перемещений рыб вверх и вниз по течению показало, что рассматриваемые характеристики не являются нормально распределенными данными, критерий Шапиро – Уилка всегда $p \leq 0,05$. При дальнейшем анализе данных использовали непараметрические показатели. Оценку степени статистической значимости различий перемещений рыб по различным глубинным биотопам (прибрежье, стрежень) выполняли с помощью критерия знаков.

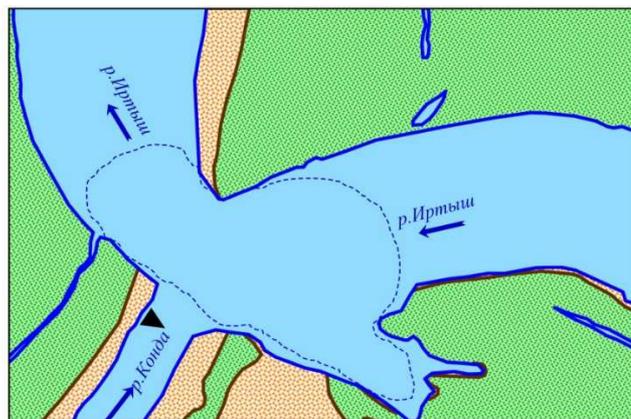


Рис. 1. Схема района исследований (стрелками показаны направления течений рек, пунктиром – границы русловой ямы, треугольником – зона гидроакустических съемок)
 Fig. 1. Scheme of the study area (the arrows indicate the direction of river currents, the dotted line shows the boundaries of the riverbed depression, the triangle shows the zone of hydroacoustic surveys)

Перемещение рыб различных семейств и размерных групп зависит от формы тела и хвостового плавника, различных соотношений к скорости течения, турбулентности и температуры воды, в связи с этим для оценки величины и силы корреляции перемещения рыб использовался коэффициент Спирмена для двух зависимых показателей. Силу корреляционной связи оценивали по шкале: слабая (0,1–0,3); умеренная (0,3–0,5); заметная (0,5–0,7); высокая (0,7–0,9); очень высокая (0,9–1).

Результаты и обсуждение

В результате выполненной работы установлено, что рыбное население на исследуемом участке рек было представлено следующими видами: язь *Leuciscus idus* L., лещ *Abramis brama* L., плотва обыкновенная *Rutilus rutilus* L., сибирский елец *Leuciscus leuciscus baicalensis* L., серебряный карась *Carassius gibelio* L., речной окунь *Perca fluviatilis* L., обыкновенный судак *Sander lucioperca* L., обыкновенный ерш *Gymnocephalus cernuus* L., обыкновенная щука *Esox lucius* L., налим *Lota lota* L., нельма *Stenodus leucichthys nelma* G., муксун *Coregonus muksun* P., пелядь *Coregonus peled* G., стерлядь *Acipenser ruthenus* L., сибирский осетр *Acipenser baerii* V.¹

Статистический анализ. С целью определения связи между перемещениями рыб в различных глубинных биотопах [затапливаемая левобережная пойменная часть реки (1), левобережная часть стрежня реки (2)], в различной направленности по отношению к течению [вверх (ВВ) и вниз (ВН)], а также во взаимосвязи с температурой воды (T) рассчитан коэффициент ранговой корреляции двух зависимых показателей Спирмена (табл. 1).

Очень высокая корреляционная связь установлена между перемещениями рыб вверх по течению и вниз на каждом из наблюдаемых участков реки (1 – $R_S = 0,98$, 2 – $R_S = 0,95$). Высокая корреляция отмечена при исследовании связи между перемещениями рыб с различных глубинных участков вверх по течению ($R_S = 0,81$) и вниз по течению ($R_S = 0,77$). При исследовании связи между перемещениями рыб вниз по течению на участке 1 и вверх на участке 2 установлена высокая корреляция ($R_S = 0,73$). Такого же уровня корреляция отмечена и при исследовании взаимосвязи перемещения рыб вниз по течению в затопленной пойме и вверх по течению на стрежневой части реки ($R_S = 0,83$). Анализ связи интенсивности перемещения рыб в каком-либо из исследуемых участков как вверх, так и вниз по течению с температурой воды не выявил ее статистической значимости, а величины самой связи на участке 1 вверх и вниз по течению составили $R_S = -0,11$ и $R_S = -0,03$ соответственно, слабая и умеренная прямая корреляция установлена в ходе анализа перемещения рыб вверх и вниз по течению на участке 2: $R_S = 0,07$ и $R_S = -0,32$.

¹ Сибирский осетр (*Acipenser baerii* Brandt) занесен в Красную книгу Тюменской области; согласно Правилам рыболовства для Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна, утвержденным приказом Минсельхоза РФ от 22.10.2014 № 402 (ред. от 28.06.2017), особи данного вида незамедлительно и с наименьшими повреждениями были выпущены в естественную среду обитания.

Таблица 1. Корреляционные связи (коэффициент Спирмена R_S) перемещений рыб и температуры воды на устьевом участке р. Конда
Table 1. Correlations (Spearman coefficient R_S) of fish movements and water temperature at the mouth of the Konda River

Переменные	ВВ1	ВН1	ВВ2	ВН2	T
ВВ1	1,00	<i>0,98*</i>	<i>0,81</i>	<i>0,73</i>	-0,11
ВН1	–	1,00	<i>0,83</i>	<i>0,77</i>	-0,03
ВВ2	–	–	1,00	<i>0,95</i>	0,07
ВН2	–	–	–	1,00	0,32

Примечание. *Курсивом отмечены значимые корреляции на уровне $p < 0,05$.

Статистически значимые различия в перемещении рыб на участках 1 и 2 ($p < 0,05$), за исключением сравнения перемещения рыб вверх на участке 1 и вниз по течению на участке 2 ($p = 0,51$), вверх и вниз по течению на участке 2 ($p = 0,11$), представлены в табл. 2.

Таблица 2. Достоверность отличий по показателям численности рыб, перемещающихся в контролируемых сечениях р. Конда (T -критерий)
Table 2. The reliability of differences in the numbers of fish moving through the controlled sections of the Konda River (T -test)

Пара переменных	Число n парных наблюдений, имеющих различия	Критическое значение критерия, %	Число однозначных результатов сравнения Z	Уровень значимости p
ВВ1 × ВН1	<i>9*</i>	<i>100,00</i>	<i>2,67</i>	<i>0,008</i>
ВВ1 × ВВ2	10	90,00	2,21	0,027
ВВ1 × ВН2	9	66,67	0,67	0,505
ВН1 × ВВ2	10	100,00	2,85	0,004
ВН1 × ВН2	10	100,00	2,85	0,004
ВВ2 × ВН2	10	20,00	1,58	0,114

Примечание. *Курсивом отмечены значимые корреляции на уровне $p < 0,05$.

Перемещение рыб вверх по течению. Исследование перемещения и миграций рыб указывает на их достаточно высокую активность как в прибрежье (354–634 экз./сут), так и на стрежне (108–820 экз./сут) при минимальной температуре воды 1,5 °С в период с 1 по 3 мая (рис. 2, а). При увеличении температуры воды до 4,5 °С (4–6 мая) на участках 1 и 2 отмечена тенденция к уменьшению численности мигрирующих рыб вверх по течению (73–835 и 72–315 экз./сут соответственно). В дальнейшем при температуре воды 4–8,5 °С (7–10 мая) число рыб, мигрирующих вверх по течению, на исследуемых участках 1 и 2 возросло (325–3958 и 227–1252 экз./сут), только при максимально высокой наблюдаемой температуре 8,5 °С произошло снижение количества рыб, прошедших вверх через контролируемые сечения р. Конда в прибрежье и на стрежне (до 607 и 227 экз./сут соответственно). Максимальный показатель численности рыб, прошедших вверх по течению в прибрежье, составил 37,49 % от числа рыб, зарегистрированных за весь период наблюдений (в численном выражении 3958 экз.); данный показатель зафиксирован 9 мая при температуре воды 6,5 °С. Для стрежня максимальное число зарегистрированных рыб отмечено также 9 мая и составило 25,46 % от общего числа зарегистрированных рыб на этом участке (в численном выражении 1252 экз.). Таким образом, 9 мая при температуре воды 6,5 °С вверх по течению мигрировало более 1/3 (33,67 %) от общего числа зарегистрированных рыб, прошедших через контролируемые сечения реки вверх.

В результате анализа размеров рыб, мигрирующих вверх по течению, установлено, что в прибрежье преобладают рыбы средних размеров, равных 5–10, 10–15, 15–20 см (величины их долей 19,74; 18,42; 15,79 % соответственно), что свою очередь составляет 53,95 % от общего числа рыб, зарегистрированных в зоне прибрежья. Доля более крупных рыб с размерами тела >50 см не столь значительна (17,11 %). На стрежне общая картина была прямо противоположной: преобладали рыбы крупных размеров (>50 см) – 32,22 %, а доли рыб средних и малых размеров (5–10, 10–15, 15–20 см) незначительны (11,19; 12,52; 13,06 %) (рис. 3, а).

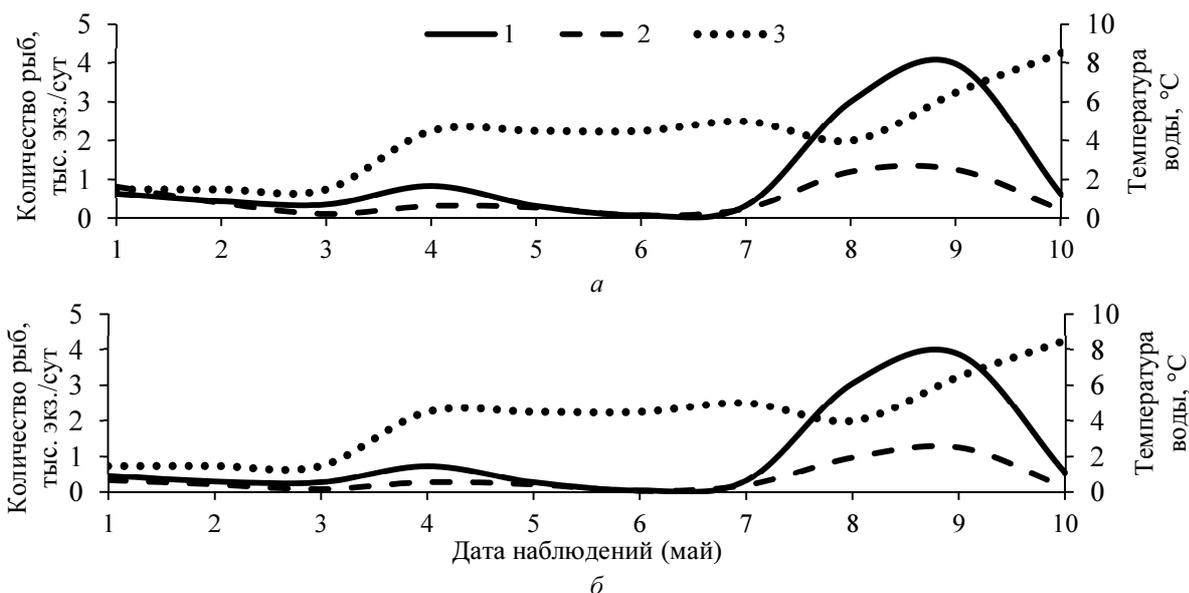


Рис. 2. Перемещение рыб через контролируемые сечения потока (1–10 мая, 2015 г.) по данным гидроакустической съемки в прибрежье (1) и на стрежне (2) в зависимости от температуры воды устьевого участка р. Конда (3): а – вверх по течению; б – вниз по течению

Fig. 2. Movement of fish through controlled cross-sections of flow (May 1–10, 2015) according to the hydroacoustic survey in the coastal area (1) and on the midstream (2), depending on the water temperature of the mouth of the Konda River (3): а – upstream; б – downstream

Перемещение рыб вниз по течению. В результате исследований установлено, что перемещения рыб вниз по течению по направлению к русовой яме (р. Иртыш) оказались сопоставимыми с миграцией рыб вверх по течению (рис. 2, б). При невысокой температуре воды 1,5 °С (1–3 мая) в прибрежье число зарегистрированных рыб находилось в пределах 277–464 экз./сут, на стрежне – 81–338 экз./сут. В период возрастания температуры до 4,5 °С (4–6 мая) численность рыб, прошедших через контрольное сечение, находилась в пределах 48–735 экз./сут (в прибрежье) и 32–278 экз./сут (на стрежне). При увеличении температуры воды до 8,5 °С (7–10 мая) отмечен рост численности мигрирующих рыб в прибрежье и на стрежне (до 3 849 и 1 199 экз./сут соответственно). При максимальной температуре 8,5 °С (10 мая) численность рыб, перемещающихся в зоне контролируемого сечения реки, снизилась до 529 (в прибрежье) и 141 экз./сут (на стрежне).

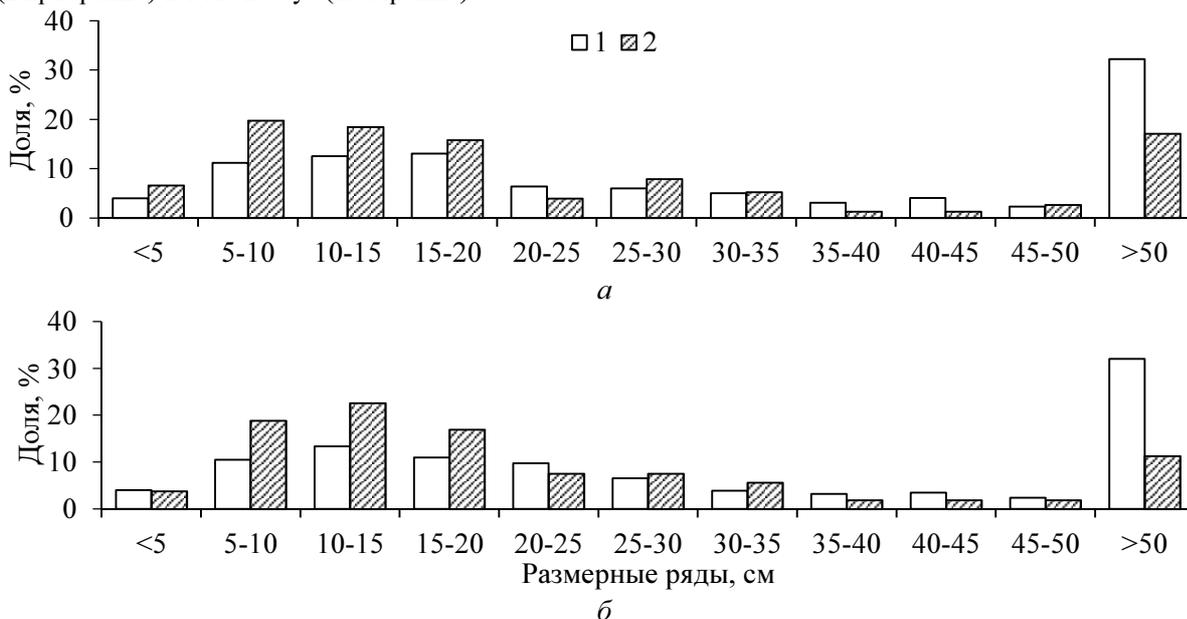


Рис. 3. Процентное соотношение размерных рядов рыб, зарегистрированных при их перемещении вверх (а) и вниз (б) по течению на стрежне (1) и в прибрежье (2) р. Конда
Fig. 3. Percentage of dimensional series of fish registered as they move upstream (а) and downstream (б) on the midstream (1) and in the coastal area (2) of the Konda River

Максимальные показатели численности в прибрежье и на стрежне (9 мая) составили соответственно 39,05 и 32,70 % от общего числа рыб, зарегистрированных на данных участках.

Распределение процентного соотношения размерных рядов рыбного населения, перемещающегося вниз по течению в разных биотопах (прибрежье и стрежень), показало существенное различие численности рыб определенного размера, мигрирующих на участках реки с быстрым и более замедленным течением (рис. 3, б). На стрежне отмечено преобладание рыб большего размера (>50, 45–50, 40–45, 35–40 см; их доли составили соответственно 31,99; 2,41; 3,49; 3,18 %); в прибрежье доля рыб длиной >50 см составила 11,32 %; доли рыб длиной 45–50, 40–45, 35–40 см – по 1,89 %. Преобладающие доли малоразмерных и среднеразмерных рыб (5–10, 10–15, 15–20 см) отмечены в прибрежье (18,87; 22,64; 16,98 %) в сравнении с долями этих рыб на стрежне (10,48; 13,35; 10,95 % соответственно). Самые малые особи длиной <5 см при скате преобладали на стрежне (4,04 %), в прибрежье их доля составила 3,77 %; при подъеме вверх особи данной группы доминировали в прибрежье. Такая же закономерность наблюдалась и для размерной группы рыб длиной 20–25 см.

При выполнении кластерного анализа распределения участков реки и направленности по перемещениям рыб на основе показателя процентного соотношения размерных групп рыб установлено, что участки (стрежень и прибрежье) находятся в разных кластерах, а перемещения рыб вверх по течению на указанном участке реки схожи (рис. 4).

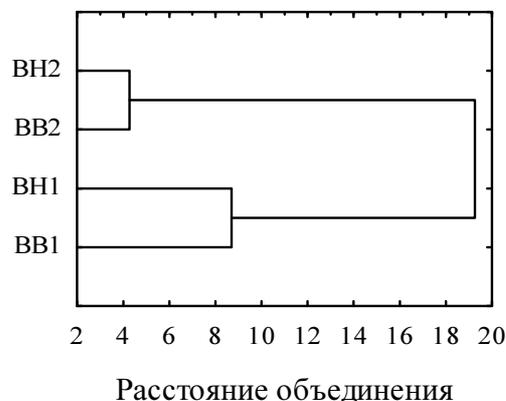


Рис. 4. Дендрограмма связи участков и направления перемещения рыб по процентному соотношению размерных рядов (BB – вверх по течению; BH – вниз по течению; 1 – прибрежье; 2 – стрежень)

Fig. 4. Dendrogram of the connection of the sections and the direction of the movement of fish according to the percentage ratio of the size series (BB – upstream; BH – downstream; 1 – the coastal area; 2 – the midstream)

Вычисленное объединение участков реки (прибрежье и стрежень) в отдельные кластеры отражает предпочтение биотопов с различными гидродинамическими характеристиками особями рыб различного размера: длиной до 20 см – в прибрежье; более 35 см – на стрежне.

Всего за период исследований через контролируемые сечения р. Конда вверх мигрировало 10 557 и 4 915 рыб в прибрежье и на стрежне, вниз – соответственно 9 852 и 3 666 рыб; превышение численности рыб, мигрирующих вверх, составило 701 и 1 249 экземпляров.

Общая тенденция и численные закономерности перемещения рыб в весенний период на устьевом участке реки, сопряженным с русловой зимовальной ямой, схожи для противоположных направлений (вверх и вниз по течению); максимальные и минимальные значения регистрируемой численности рыб наблюдаются в одни и те же периоды. Такие характеристики перемещения отражают высокую активность рыб в весенний период после вскрытия льда, обусловленную, вероятно, температурным и гидрологическим режимами водотока, способствующими их нерестовому и пищевому поведению. Например, нельма зимует на зимовальных ямах, а в период весеннего вскрытия льда идет в притоки [3]; в нашем случае это подтверждается, поскольку в период исследований в контрольных уловах на р. Конда все пойманные особи нельмы активно питались. В работе Т. Уолша и др. [4] показано, что поведение представителей окуневых рыб в части интенсивного перемещения вверх и вниз по водотокам в весенний период обусловлено их нерестовым поведением и изменением температуры воды. Для карповых рыб характерно направленное перемещение из реки в пойму при ее затоплении [5]. При одновременном исследовании перемещения карповых и окуневых рыб [6] показано, что наряду с нерестовыми миграциями одними из основных факторов окружающей среды, влияющими на интенсивность движения этих рыб, являются изменение уровня воды, температура и освещенность.

Таким образом, установлено, что численность перемещающихся рыб как вверх, так и вниз по течению в прибрежье может превосходить более чем в 2,5 раза данный показатель на стрежне реки, при этом на участке прибрежья в размерной структуре рыбного населения доминируют рыбы средних и малых размеров (5–20 см), а на стрежне – крупных размеров (>35 см); отличие в размерных группах рыб по участкам реки объясняется не только способностью рыб противостоять движению вод, но и выбирать зоны оптимальных скоростей, что подтверждается в процессе изучения [7] представителей карповых рыб, включая плотву. По данным исследователей [8], донные рыбы, к которым в рассматриваемом районе относятся представители осетровых и налимовых, видоспецифичны в выборе микробиотопов и имеют общую тенденцию к распределению на глубоких участках рек, где течение воды замедлено или практически полностью отсутствует, а на дне расположен субстрат крупных размеров (бревна, валуны). Такие закономерности объясняются тем, что в направлении от стрежня к берегу происходит уменьшение скорости течения и, соответственно, особи рыб испытывают в прибрежье наименьшее сопротивление течения воды. Схожая интенсивность перемещения рыб вверх и вниз по течению на примере карповых объясняется пластичностью закономерных ответных реакций на варьирующие экологические факторы, в результате чего происходит оптимизация сроков начала миграции на нерестилища в зависимости от факторов среды и индивидуального опыта рыб [9]. Различия в соотношениях размерных рядов рыб, перемещающихся в прибрежье и на стрежне реки, по данным, указанным в работе [10], обусловлена также и тем, что виды рыб, преодолевающие значительные миграционные пути (сиговые, осетровые), имеют большие значения критических скоростей плавания в сравнении с представителями рыб, осуществляющими только локальные перемещения (карповые окуневые, щуковые), что подтверждается и другими исследователями [11], описывающими достоверные различия в интенсивности перемещений рыб в притоки в зависимости от размера и вида рыб. Даже в личиночной стадии проявляется достоверное отличие критической скорости рыб, являющихся хорошими пловцами, и рыб, не умеющих совершать длительные скоростные перемещения [12]. При этом [13] именно в весенний период (с марта до середины мая), совпадающий со сроками нереста для щуки, установлено увеличение интенсивности перемещений в отдаленные части водотоков, несмотря на наличие подходящих нерестилищ вблизи мест, где данный вид обитает большую часть года. Миграции половозрелых особей судака в период с апреля по июнь являются нерестовыми, в оставшийся период – нагульными [14]. Кроме того, для различных видов рыб, в том числе и для осетровых, установлено [15–19], что критическая скорость плавания возрастает в процессе онтогенеза, т. е. с увеличением длины и массы. Другими исследователями определено [20; 21], что самки и самцы одного вида рыб при наличии полового диморфизма достоверно различаются по показателю критической скорости. Интересен тот факт [22; 23], что результатом обитания одного и того же вида рыб в более сложных гидродинамических условиях может стать морфологическая дивергенция, уменьшающая гидродинамическое сопротивление и затраты энергии при локомоции, а из-за морфологических вариаций тела уменьшение показателя критической скорости плавания может находиться в пределах 3–22 % [24]. Высокие плотности рыб в потоке при их миграциях создают жесткие биоэнергетические условия [25], требующие большого количества внутренних запасов, этим и объясняется отсутствие абсолютного доминирования рыб определенных размеров на определенном участке водотока (стрежень и прибрежье). Таким образом, распределение рыб в потоке при миграции происходит в результате их стремления к биоэнергетическому оптимуму за счет видовой, возрастной, половой и размерной специфичности.

Заключение

В исследуемой системе "русовая яма – река" выявленный механизм перемещения рыб подтверждает общий тренд миграций массовых видов рыбного населения Нижнего Иртыша в весенний период в сторону пойменно-сорového комплекса р. Конда с доминированием рыб разных размеров в участках потока с различными глубинами и скоростями течения. Такое распределение рыб в потоке реки позволяет различным видам реализовать (нагул и нерест) свой биологический потенциал с наименьшими энергетическими затратами в условиях экологических факторов затопляемой поймы водотока.

Библиографический список

1. Экология рыб Обь-Иртышского бассейна : [монография] / под ред. Д. С. Павлова, А. Д. Мочка. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2006. 596 с.
2. Борисенко Э. С., Мочек А. Д., Павлов Д. С., Чемагин А. А. Распределение рыб в речной системе Нижнего Иртыша // Вопросы ихтиологии. 2013. Т. 53, № 1. С. 31–43.

3. Богданов В. Д., Мельниченко И. П. Современное состояние нельмы в бассейне реки Северной Сосьвы // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. 2013. № 3. С. 20–24.
4. Walsh C. T., Reinfelds I. V., Gray C. A., West R. J., van der Meulen D. E. [et al.]. Seasonal residency and movement patterns of two co-occurring catadromous percichthyids within a south-eastern Australian river // Ecology of Freshwater Fish. 2012. V. 21, Iss. 1. P. 145–159. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2011.00534.x>.
5. Jones M. J., Stuart I. G. Lateral movement of common carp (*Cyprinus carpio* L.) in a large lowland river and floodplain // Ecology of Freshwater Fish. 2009. V. 18, Iss. 1. P. 72–82. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2008.00324.x>.
6. Hohaiová E., Copp G. H., Jankovský P. Movement of fish between a river and its backwater: diel activity and relation to environmental gradients // Ecology of Freshwater Fish. 2003. V. 12, Iss. 2. P. 107–117. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00014.x>.
7. Garner P. Swimming ability and differential use of velocity patches by 0+ cyprinids // Ecology of Freshwater Fish. 1999. V. 8, Iss. 1. P. 55–58. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.1999.tb00053.x>.
8. Greenberg L. A., Stlles R. A. A descriptive and experimental study of microhabitat use by young-of-the-year benthic stream fishes // Ecology of Freshwater Fish. 1993. V. 2, Iss. 1. P. 40–49. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.1993.tb00015.x>.
9. Benitez J.-P., Ovidio M. The influence of environmental factors on the upstream movements of rheophilic cyprinids according to their position in a river basin // Ecology of Freshwater Fish. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12382>. Online Version of Record before inclusion in an issue.
10. Tudorache C., Viaene P., Blust R., Vereecken H., De Boeck G. A comparison of swimming capacity and energy use in seven European freshwater fish species // Ecology of Freshwater Fish. 2008. V. 17, Iss. 2. P. 284–291. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2007.00280.x>.
11. Nunn A. D., Copp G. H., Vilizzi L., Carter M. G. Seasonal and diel patterns in the migrations of fishes between a river and a floodplain tributary // Ecology of Freshwater Fish. 2010. V. 19, Iss. 1. P. 153–162. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2009.00399.x>.
12. Kopf S. M., Humphries P., Watts R. J. Ontogeny of critical and prolonged swimming performance for the larvae of six Australian freshwater fish species // Journal of Fish Biology. 2014. V. 84, Iss. 6. P. 1820–1841. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfb.12399>.
13. Koed A., Balleby K., Mejlhede P., Aarestrup K. Annual movement of adult pike (*Esox lucius* L.) in a lowland river // Ecology of Freshwater Fish. 2006. V. 15, Iss. 1. P. 191–199. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2006.00136.x>.
14. Koed A., Mejlhede P., Balleby K., Aarestrup K. Annual movement and migration of adult pikeperch in a lowland river // Journal of Fish Biology. 2000. V. 57, Iss. 5. P. 1266–1279. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2000.tb00486.x>.
15. Heggenes J., Traaen T. Downstream migration and critical water velocities in stream channels for fry of four salmonid species // Journal of Fish Biology. 1988. V. 32, Iss. 5. P. 717–727. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1988.tb05412.x>.
16. Heggenes J., Baglinière J. L., Cunjak R. A. Spatial niche variability for young Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) in heterogeneous streams // Ecology of Freshwater Fish. 1999. V. 8, Iss. 1. P. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.1999.tb00048.x>.
17. Deslauriers D., Kieffer J. D. The influence of flume length and group size on swimming performance in shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum* // Journal of Fish Biology. 2011. V. 79, Iss. 5. P. 1146–1155. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.03094.x>.
18. Cattaneo F., Grimardias D., Carayon M., Persat H., Bardonnet A. A multidimensional typology of riverbank habitats explains the distribution of European grayling (*Thymallus thymallus* L.) fry in a temperate river // Ecology of Freshwater Fish. 2014. V. 23, Iss. 4. P. 527–543. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12106>.
19. Deslauriers D., Heironimus L., Rapp T., Graeb B.D.S., Klumb R.A. [et al.]. Growth potential and habitat requirements of endangered age-0 pallid sturgeon (*Scaphirhynchus albus*) in the Missouri River, USA, determined using an individual-based model framework // Ecology of Freshwater Fish. 2017. V. 27, Iss. 1. P. 198–208. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12337>.
20. Conradsen C., McGuigan K. Sexually dimorphic morphology and swimming performance relationships in wild-type zebrafish *Danio rerio* // Journal of Fish Biology. 2015. V. 87, Iss. 5. P. 1219–1233. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfb.12784>.
21. Srean P., Almeida D., Rubio-Gracia F., Luo Y., García-Berthou E. Effects of size and sex on swimming performance and metabolism of invasive mosquitofish *Gambusia holbrooki* // Ecology of Freshwater Fish. 2017. V. 26, Iss. 3. P. 424–433. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12286>.
22. McGuigan K., Franklin C. E., Moritz C., Blows M. W. Adaptation of rainbow fish to lake and stream habitats // Evolution. 2003. V. 57, Iss. 1. P. 104–118. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2003.tb00219.x>.

23. Alexandre C. M., Quintella B. R., Ferreira A. F., Romão F. A., Almeida P. R. Swimming performance and ecomorphology of the Iberian barbell *Luciobarbus bocagei* (Steindachner, 1864) on permanent and temporary rivers // Ecology of Freshwater Fish. 2014. V. 23, Iss. 2. P. 244–258. Special Issue: Ecology and conservation of freshwater fish: time to act for a more effective management. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12073>.

24. Li D., Hu W., Wang Y., Zhu Z., Fu C. Reduced swimming abilities in fast-growing transgenic common carp *Cyprinus carpio* associated with their morphological variations // Journal of Fish Biology. 2009. V. 74, Iss. 1. P. 186–197. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.02128.x>.

25. Hartson R. B., Kennedy B. P. Competitive release modifies the impacts of hydrologic alteration for a partially migratory stream predator // Ecology of Freshwater Fish. 2015. V. 24, Iss. 2. P. 276–292. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12145>.

References

1. Ekologiya ryb Ob-Irtyshskogo basseyna [Ecology of fish of the Ob-Irtysh basin] : [monografiya] / pod red. D. S. Pavlova, A. D. Mocheka. M. : Tovarischestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2006. 596 p.

2. Borisenko E. S., Mochek A. D., Pavlov D. S., Chemagin A. A. Raspredelenie ryb v rechnoy sisteme Nizhnego Irtysha [Distribution of fish in the river system of the Lower Irtysh] // Voprosy ihtiologii. 2013. V. 53, N 1. P. 31–43.

3. Bogdanov V. D., Melnichenko I. P. Sovremennoe sostoyanie nelmy v bassejne reki Severnoy Sosvy [Current state of whitefish (*Coregonus nelma*, Pallas) in the North Sosva River Basin] // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Ser. Rybnoe hozyaystvo. 2013. N 3. P. 20–24.

4. Walsh C. T., Reinfelds I. V., Gray C. A., West R. J., van der Meulen D. E. [et al.]. Seasonal residency and movement patterns of two co-occurring catadromous percichthyids within a south-eastern Australian river // Ecology of Freshwater Fish. 2012. V. 21, Iss. 1. P. 145–159. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2011.00534.x>.

5. Jones M. J., Stuart I. G. Lateral movement of common carp (*Cyprinus carpio* L.) in a large lowland river and floodplain // Ecology of Freshwater Fish. 2009. V. 18, Iss. 1. P. 72–82. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2008.00324.x>.

6. Hohařová E., Copp G. H., Jankovský P. Movement of fish between a river and its backwater: diel activity and relation to environmental gradients // Ecology of Freshwater Fish. 2003. V. 12, Iss. 2. P. 107–117. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00014.x>.

7. Garner P. Swimming ability and differential use of velocity patches by 0+ cyprinids // Ecology of Freshwater Fish. 1999. V. 8, Iss. 1. P. 55–58. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.1999.tb00053.x>.

8. Greenberg L. A., Stiles R. A. A descriptive and experimental study of microhabitat use by young-of-the-year benthic stream fishes // Ecology of Freshwater Fish. 1993. V. 2, Iss. 1. P. 40–49. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.1993.tb00015.x>.

9. Benitez J.-P., Ovidio M. The influence of environmental factors on the upstream movements of rheophilic cyprinids according to their position in a river basin // Ecology of Freshwater Fish. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12382>. Online Version of Record before inclusion in an issue.

10. Tudorache C., Viaene P., Blust R., Vereecken H., De Boeck G. A comparison of swimming capacity and energy use in seven European freshwater fish species // Ecology of Freshwater Fish. 2008. V. 17, Iss. 2. P. 284–291. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2007.00280.x>.

11. Nunn A. D., Copp G. H., Vilizzi L., Carter M. G. Seasonal and diel patterns in the migrations of fishes between a river and a floodplain tributary // Ecology of Freshwater Fish. 2010. V. 19, Iss. 1. P. 153–162. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2009.00399.x>.

12. Kopf S. M., Humphries P., Watts R. J. Ontogeny of critical and prolonged swimming performance for the larvae of six Australian freshwater fish species // Journal of Fish Biology. 2014. V. 84, Iss. 6. P. 1820–1841. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfb.12399>.

13. Koed A., Balleby K., Mejlhede P., Aarestrup K. Annual movement of adult pike (*Esox lucius* L.) in a lowland river // Ecology of Freshwater Fish. 2006. V. 15, Iss. 1. P. 191–199. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2006.00136.x>.

14. Koed A., Mejlhede P., Balleby K., Aarestrup K. Annual movement and migration of adult pikeperch in a lowland river // Journal of Fish Biology. 2000. V. 57, Iss. 5. P. 1266–1279. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2000.tb00486.x>.

15. Heggenes J., Traaen T. Downstream migration and critical water velocities in stream channels for fry of four salmonid species // Journal of Fish Biology. 1988. V. 32, Iss. 5. P. 717–727. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1988.tb05412.x>.

16. Heggenes J., Baglinière J. L., Cunjak R. A. Spatial niche variability for young Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) in heterogeneous streams // Ecology of Freshwater Fish. 1999. V. 8, Iss. 1. P. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.1999.tb00048.x>.

17. Deslauriers D., Kieffer J. D. The influence of flume length and group size on swimming performance in shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum* // Journal of Fish Biology. 2011. V. 79, Iss. 5. P. 1146–1155. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.03094.x>.
18. Cattaneo F., Grimardias D., Carayon M., Persat H., Bardonnnet A. A multidimensional typology of riverbank habitats explains the distribution of European grayling (*Thymallus thymallus* L.) fry in a temperate river // Ecology of Freshwater Fish. 2014. V. 23, Iss. 4. P. 527–543. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12106>.
19. Deslauriers D., Heironimus L., Rapp T., Graeb B.D.S., Klumb R.A. [et al.]. Growth potential and habitat requirements of endangered age-0 pallid sturgeon (*Scaphirhynchus albus*) in the Missouri River, USA, determined using an individual-based model framework // Ecology of Freshwater Fish. 2017. V. 27, Iss. 1. P. 198–208. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12337>.
20. Conradsen C., McGuigan K. Sexually dimorphic morphology and swimming performance relationships in wild-type zebrafish *Danio rerio* // Journal of Fish Biology. 2015. V. 87, Iss. 5. P. 1219–1233. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfb.12784>.
21. Srean P., Almeida D., Rubio-Gracia F., Luo Y., García-Berthou E. Effects of size and sex on swimming performance and metabolism of invasive mosquitofish *Gambusia holbrooki* // Ecology of Freshwater Fish. 2017. V. 26, Iss. 3. P. 424–433. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12286>.
22. McGuigan K., Franklin C. E., Moritz C., Blows M. W. Adaptation of rainbow fish to lake and stream habitats // Evolution. 2003. V. 57, Iss. 1. P. 104–118. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2003.tb00219.x>.
23. Alexandre C. M., Quintella B. R., Ferreira A. F., Romão F. A., Almeida P. R. Swimming performance and ecomorphology of the Iberian barbell *Luciobarbus bocagei* (Steindachner, 1864) on permanent and temporary rivers // Ecology of Freshwater Fish. 2014. V. 23, Iss. 2. P. 244–258. Special Issue: Ecology and conservation of freshwater fish: time to act for a more effective management. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12073>.
24. Li D., Hu W., Wang Y., Zhu Z., Fu C. Reduced swimming abilities in fast-growing transgenic common carp *Cyprinus carpio* associated with their morphological variations // Journal of Fish Biology. 2009. V. 74, Iss. 1. P. 186–197. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.02128.x>.
25. Hartson R. B., Kennedy B. P. Competitive release modifies the impacts of hydrologic alteration for a partially migratory stream predator // Ecology of Freshwater Fish. 2015. V. 24, Iss. 2. P. 276–292. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12145>.

Сведения об авторе

Чемагин Андрей Александрович – ул. Академика Юрия Осипова, 16, г. Тобольск, Тюменская обл., Россия, 626150; Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения РАН, канд. биол. наук, науч. сотрудник; e-mail: ChemaginAA@yandex.ru

Chemagin A. A. – 16, Akademika Yuriya Osipova Str., Tobolsk, Tyumen region, Russia, 626150; Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Cand. of Biol. Sci., Researcher; e-mail: ChemaginAA@yandex.ru

A. A. Chemagin

Migrations and movements of fish in the system "riverbed depression – river"

The researchers have been carried out in the basin of the Lower Irtysh at the mouth of the River Konda, where there is one of the large wintering riverbed depression; the patterns of distribution of fish in different parts of the river during the period of intensive spring migrations – fish moving downstream and upstream in the "riverbed depression – river" system – have been studied; the direction and intensity of the movements of fish, its size range as in the midstream and in the coastal waters of the watercourse have been established. Migratory fish has been recorded round the clock as they passed through controlled sections of the river by hydroacoustic method using the complexes NetCor. The hydroacoustic survey has been performed simultaneously on different sections of the river in the transverse direction – as the midstream, and in coastal waters. It has been determined that the movements of fish in different areas and in different directions have high values of the correlative connection, indicating a high activity of fish in spring. Numerically, fish predominate migrating upstream. The numerical predominance of fish moving in the coastal zone in comparison with the river site located on the midstream than 2.5 times has been noted. In the coastal area among the up streaming and down streaming migrants, small and medium-sized fish (<20 cm) prevailed, and on the midstream – larger individuals dominated (>35 cm). Cluster analysis confirms the difference between the coastal and midstream zones based on the size structure of migrants. The revealed regularities reflect the mechanism for reducing energy loss and optimal distribution of fish in the river flow during the migration period.

Key words: distribution of fish, migration, movements, stream, hydroacoustic survey.