

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОСОБЕННОСТИ И ДИНАМИКУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЫБ В МАЛОМ ПРИТОКЕ РЕКИ ИРТЫШ

А. А. Чемагин

*Тобольская комплексная научная станция
Уральского отделения Российской академии наук,
Тюменская обл., Тобольск, Российская Федерация*

Исследования выполнены в затопляемой пойме малой р. Варпак в бассейне Нижнего Иртыша в период весеннего паводка (май). Анализировали влияние абиотических факторов на особенности распределения рыб, в том числе молоди карповых, окуневых рыб и щуки. Установлено, что в период исследований отмечалась положительная корреляционная связь плотности рыб с показателем температуры и уровня воды, т. е. рост плотности рыб увеличивался вместе с данными показателями. Обнаружена закономерность, заключающаяся в снижении доли группы окуневых и показателя плотности рыб при повышении мутности вод в периоды ветровых явлений в южном (Ю) и юго-западном (ЮЗ) направлении, что обусловлено ветровым и волновым сгоном рыб и их самостоятельным переходом на мелководные участки затопленной поймы; при направленности ветров с севера (С) и северо-востока (СВ) с возрастанием мутности увеличивается плотность рыб, т. е. происходит перемещение рыб из зон мелководья в открытую часть акватории. Исследуемый участок р. Варпак из-за особенностей рельефа местности открыт ветрам данных направлений. При рассмотрении направленности полей распределения плотностей рыб в период ветровых явлений Ю, ЮЗ, С и СВ направлений отмечается схожесть направлений ветра и распределения рыб в акватории поймы. В течение всего периода наблюдений отмечается влияние фактора мутности на распределение рыб: при его увеличении возрастает доля карповых и одновременно снижается доля окуневых, что объясняется особенностями поведения данных групп рыб. Таким образом, наблюдается прямое и опосредованное воздействие набора факторов среды (температуры и уровня воды, ветровых явлений и мутности) на особенности и динамику распределения рыб в затопляемой пойме реки в весенний период.

Ключевые слова: распределение рыб, река, пойма, уровень воды, мутность, температура воды, плотность рыб, направление ветра, волны.

Для цитирования: Чемагин А. А. Влияние абиотических факторов на особенности и динамику распределения рыб в малом притоке реки Иртыш // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 4. С. 66–80. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-4-66-80.

Введение

Исследование пространственного распределения организмов в гетерогенной среде остается одним из главных вопросов экологии, поскольку пространственная неоднородность ресурсов и условий окружающей среды влияет на распределение животных [1], которое обусловлено их оптимальными стратегиями выживания и использования среды обитания [2, 3], направленными на сохранение биоразнообразия [4]. Пространственная организация рыб изучается преимущественно широко, без учета местных условий и экологических процессов [5]. Однако мелкомасштабные процессы играют значимую роль в формировании индивидуальных предпочтений гидробионтами среды обитания, которая характеризуется определенными условиями [6]. При этом пространственное распределение пресноводных рыб обуславливается различными факторами: физико-химическими параметрами водной среды [4, 7–10], доступностью ресурсов и местообитаний [4, 10, 11], взаимодействием хищника и жертвы [3, 12–14], внутривидовыми отношениями и индивидуальными предпочтениями среды обитания [15].

Значение малых притоков крупных рек в качестве участков для воспроизводства рыб и нагульно-выростных площадей недостаточно изучено по сравнению с главными реками [16], при этом такие притоки в системе «река – пойма» являются фундаментально важными для реализации жизненного цикла многих видов рыб [17, 18].

Знание моделей пространственного распределения рыбы – важного компонента пресноводных экосистем – необходимо учитывать для полного понимания функционирования экосистемы [6] и рационального использования водных биологических ресурсов [19].

Гидроакустический метод признан одним из оптимальных методов наблюдения за пространственным распределением организмов в водных средах обитания [20]. Данный метод, применяемый на обширных акваториях, хорошо зарекомендовал себя для количественной оценки популяций рыб в реальном времени [6]. При совместном использовании с геоинформационными системами применение гидроакустического метода создает идеальную возможность для картирования и моделирования пространственного распределения рыб [6], в том числе и мелкоразмерных [5].

Цель работы – на основе гидроакустического метода исследовать динамику распределения рыб, преимущественно молоди, с учетом различных экологических факторов в период весеннего паводка в акватории затопляемой поймы малой реки – притока р. Иртыш.

Материал и методика

Исследования выполнены в акватории правобережного притока р. Иртыш – р. Варпак – 1–29 мая 2020 г. Данный водоток расположен в пойме р. Иртыш, устье находится в координатах 58° 72' с. ш., 68° 68' в. д. В период весеннего паводка р. Варпак разливается и представляет собой лимнический водоем, имеющий связь с р. Иртыш, но при этом течение отсутствует. Перемещение водных масс происходит за счет ветрового воздействия, а также в период понижения уровня воды в р. Иртыш. Глубины в р. Варпак в период исследования достигали 5–7 м, донный субстрат представлен преимущественно остатками прошлогодней растительности: при разливе затопляются ивовые деревья и кустарники, расположенные в пойме. Площадь исследуемого участка составила 11,8 га (рис. 1).

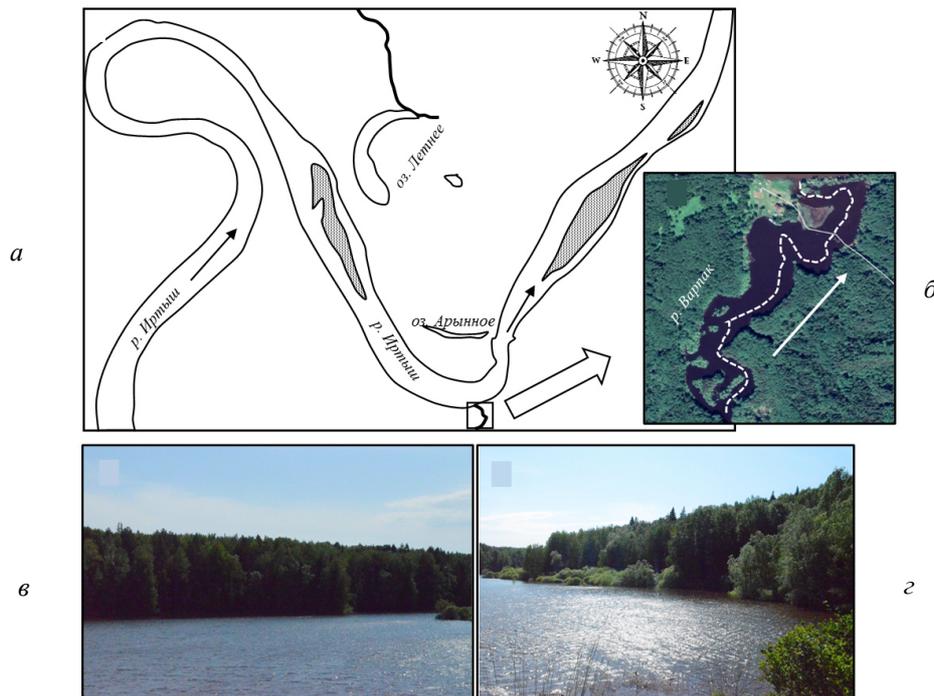


Рис. 1. Карта-схема района исследований (Уватский район, Тюменская область):
 а – расположение исследуемого водоема; б – разлив поймы р. Варпак в период весеннего паводка, пунктиром показано меженное русло; в, г – вид на акваторию р. Варпак со стороны р. Иртыш

В акватории водоема ежедневно с борта маломерного судна (моторной лодки) выполняли гидроакустическую съемку в горизонтальном (455 кГц) и вертикальном (50 кГц) тракте с помощью гидроакустического программно-технического комплекса PanCor (ООО «Промгидроакустика», г. Петрозаводск) (рис. 2), передвигаясь зигзагами по методике [21].



Рис. 2. Схема установки гидроакустических-антенн приемников в обтекателе на носовой части моторной лодки: 1 – обтекатель; 2 – антенны-приемники; а – для вертикальной съемки; б – для горизонтальной съемки

Горизонтальную съемку выполняли по всей акватории водоема, вертикальную – передвигаясь по русловой части реки. По результатам гидроакустических съемок рассчитывали плотность, размерную структуру рыбного населения, а также выполняли дистанционную идентификацию рыб на уровне семейств (карповые, окуневые, щуковые) [22]. По результатам гидроакустической съемки с помощью программ MapViewer 7, Surfer 9 создавали планшеты горизонтального распределения рыб.

Показатели водной среды р. Варпак – мутность и температуру – определяли ежедневно с помощью погружного зонда многопараметрической системы оценки качества Horiba-U22 (Horiba, Япония). Первый показатель измеряли в нефелометрических единицах (NTU), температуру в °С. Уровень воды измеряли ежедневно в устьевой части р. Варпак с помощью мерной рейки.

Измерение уровня воды, выполненное 1 мая, принято за условный «0», каждые последующие сутки к данному показателю прибавляли суточный прирост, который рассчитывали как разницу между отметками уровня, выполненными в день исследования и накануне. Для анализа ветрового воздействия была использована ежедневная метеорологическая информация о скорости и направлении ветра возле близлежащего населенного пункта п. Горнослинкино (Уватский район, Тюменская область) [23].

Статистический анализ выполняли в программе Statistica 10.0 (StatSoft, США). После проверки нормальности распределения данных рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена (R_s). Величину корреляции оценивали по следующей 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). Достоверность отличия рассчитывали с помощью однофакторного анализа ANOVA.

Для контроля видового состава рыбного населения проводили контрольный лов рыбы разноразмерными контрольными ставными сетями (с ячеей от 20 до 80 мм).

Результаты и их обсуждение

Структура и динамика рыбного населения. В результате выполненных исследований установлено, что *показатель плотности* рыб, преимущественно молодежи, в акватории р. Варпак в период наблюдений имел тенденцию к увеличению: от 29,8 тыс. экз./га в начале до 149,4 тыс. экз./га в конце исследуемого периода (рис. 3, а).

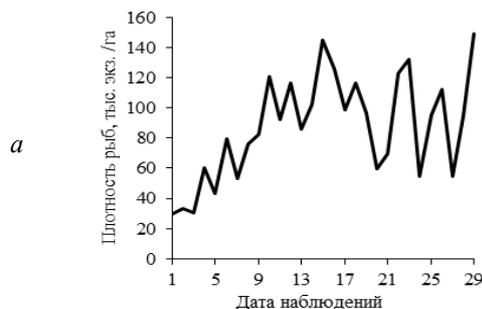


Рис. 3. Динамика структуры рыбного населения в акватории р. Варпак (май 2020 г.): а – средняя плотность

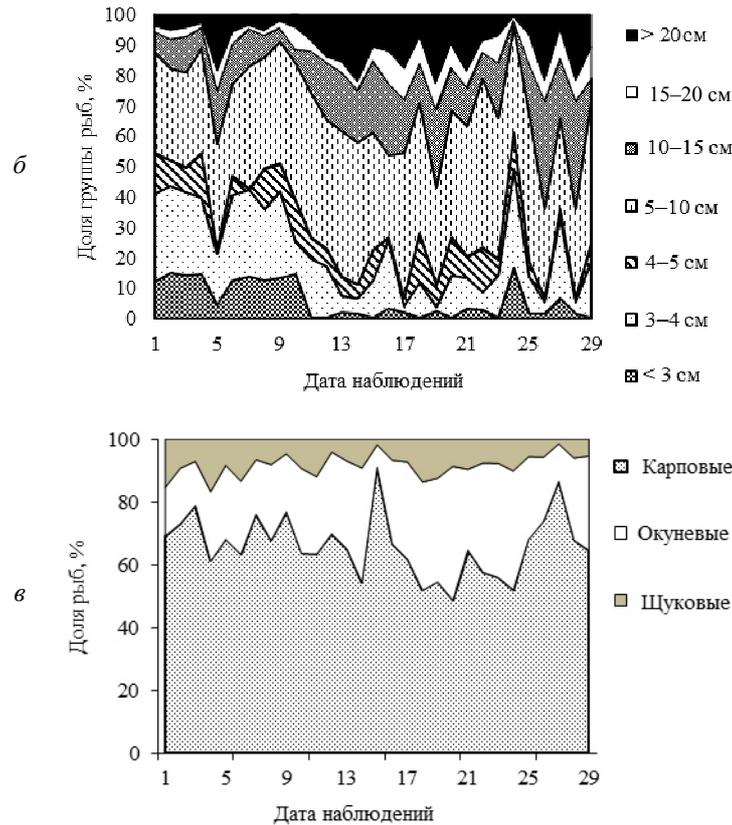


Рис. 3 (окончание). Динамика структуры рыбного населения в акватории р. Варпак (май 2020 г.):
 б – доля размерных групп рыб (<3, 3–4, 4–5, 5–10, 10–15, 15–20, >20 см);
 в – доля таксономических групп

Средняя плотность рыб по декадам наблюдений (I, II и III) составила 60,9; 103,9 и 98,2 тыс. экз./га, при статистическом анализе установлено достоверное отличие по показателю плотности рыб между декадами исследований ($P < 0,05$), за исключением анализа данного показателя между II-й и III-й декадами ($P = 0,910$).

Из анализа *размерной структуры* рыбного населения по результатам гидроакустической съемки в акватории р. Варпак следует, что в период исследований происходило уменьшение доли мелкоразмерных особей с длиной тела <3, 3–4, 4–5 см и увеличение доли (либо отмечается ее сопоставимое значение) более крупных особей рыб с размерами тела: 5–10, 10–15, 15–20, >20 см (рис. 3, б). В первую декаду наблюдений доли размерных групп <3, 3–4, 4–5, 5–10, 10–15, 15–20 и >20 см от общего числа зарегистрированных рыб в среднем составили 12,81; 24,77; 8,63; 35,67; 9,55; 3,18 и 5,39 % соответственно; во вторую и третью декаду – 1,69; 10,94; 7,05; 41,51; 18,75; 6,16; 13,90 и 4,09; 14,16; 5,90; 40,49; 17,43; 6,90; 11,04 % соответственно. В результате статистического анализа установлено, что показатели доли для группы особей рыб с размерами тела <3 см имеют достоверное отличие в I-й и II-й, I и III-й декадах ($P < 0,001$), при анализе показателей между II-й и III-й декадами не отмечено достоверных отличий ($P = 0,299$). Для группы рыб с длиной тела 3–4 см отличия отмечены при сравнении показателей I-й и II-й ($P < 0,001$), I-й и III-й декад ($P < 0,05$), а в случае анализа показателя во II-й и III-й декадах статистически достоверного отличия не отмечено ($P = 0,665$). Для размерных групп 4–5 и 5–10 см статистически достоверных отличий по показателю доли в структуре рыбного населения по 3-м декадам наблюдений не отмечено. При анализе показателя доли размерной группы рыб 10–15 см установлено достоверное отличие между I-й и II-й декадами ($P < 0,05$), при анализе других периодов отличий не отмечено. Для размерной группы 15–20 см достоверное отличие по исследуемому показателю отмечено между I-й и III-й декадами ($P < 0,05$), для размерной группы >20 см наблюдалось отличие между I-й II-й декадами ($P < 0,05$). В остальных случаях статистически достоверных отличий не наблюдается.

В результате анализа *таксономической структуры* рыбного населения р. Варпак по данным гидроакустической съемки установлено, что доминировали представители семейства карповых рыб, меньше представлены окуневые и щуковые (рис. 3, в).

В I-й декаде наблюдений средний показатель доли карповых составил 69,81 %, окуневых и щуковых – 20,35 и 9,84 % соответственно. Во II-й декаде доля карповых и щуковых рыб несколько снизилась – до 62,75 и 8,23 % соответственно, а окуневых возросла до 29,02 %. В III-й декаде наблюдений доля карповых рыб достигла среднего значения между периодами I-й и II-й декад – 65,69 %; значительно снизилась доля щуки – до 6,54 %, а для окуневых рыб данный показатель остался близким к прежнему значению – 27,77 % (рис. 3, в). По данным контрольного лова установлено, что карповые рыбы представлены преимущественно серебряным карасем (*Carassius auratus* Linnaeus), плотвой (*Rutilus rutilus* Linnaeus), в меньшей степени язем (*Leuciscus idus* Linnaeus), лещом (*Abramis brama* Linnaeus) и ельцом (*Leuciscus leuciscus* Linnaeus). Из окуневых рыб доминировал окунь (*Perca fluviatilis* Linnaeus), очень редко встречался ерш (*Gimnocephalus cernuus* Linnaeus, 1758). Семейство щуковых представлено одним видом – щукой (*Esox lucius* Linnaeus).

Динамика абиотических факторов. Подъем уровня воды за период исследований составил 77,7 см, а пиковое значение суточного прироста уровня отмечено в начале периода исследований (1 мая) и составило 0,1 м (рис. 4, а).

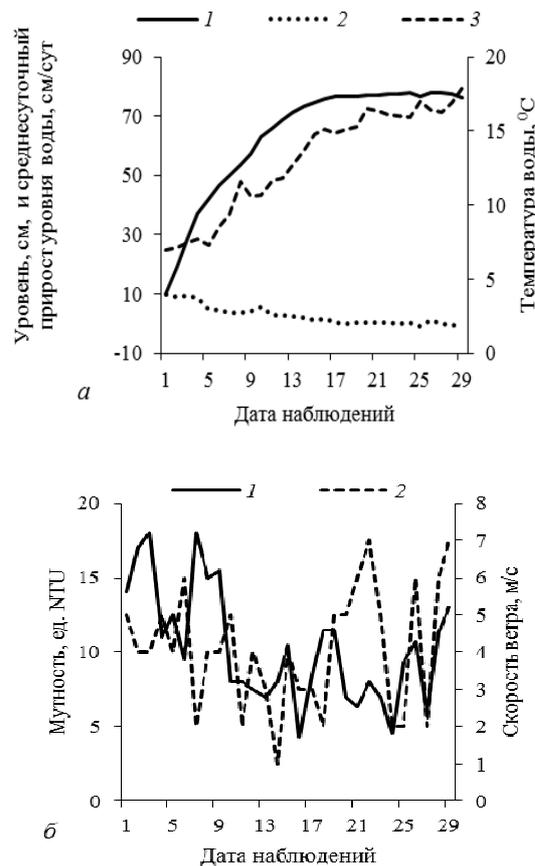


Рис. 4. Динамика абиотических факторов (май, 2020 г.):
 а – 1 – уровень воды; 2 – суточный прирост; 3 – температура воды;
 б – 1 – мутность воды; 2 – скорость ветра

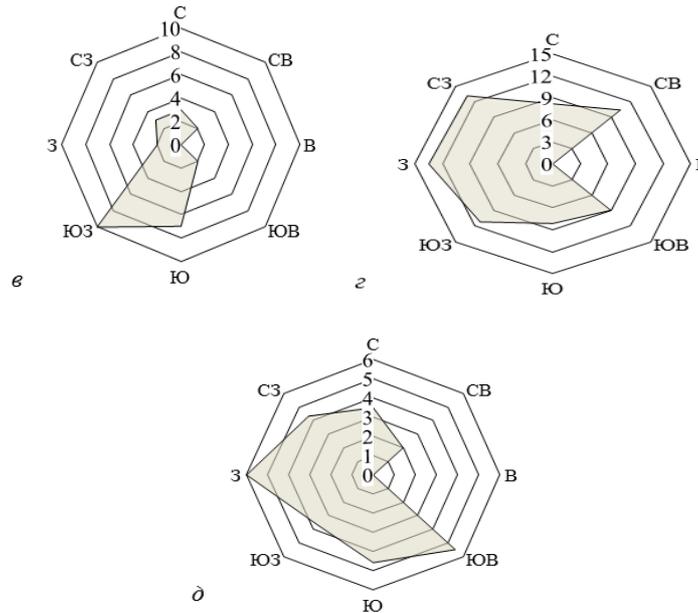


Рис. 4 (окончание). Динамика абиотических факторов (май, 2020 г.):
 а – частота ветра различных направлений;
 б – показатель мутности воды при различных направлениях ветра, ед. NTU;
 д – средняя скорость ветра различных направлений, м/с

Общий подъем температуры воды составил 10,93 °С, минимальное и максимальное значение отмечено в начале (01.05.2020) и в конце периода наблюдений (29.05.2020), данный показатель составил 6,98 и 17,91 °С соответственно (рис. 4, а).

Из анализа розы ветров за период наблюдений следует, что наибольшая частота отмечена для южного (Ю) и юго-западного (ЮЗ) направлений – 10 и 7 дней соответственно, для остальных направлений (С, З, СЗ, СВ, ЮВ) частота варьировала от 2 до 3 дней, при этом следует отметить, что за период наблюдений не отмечено ветровых явлений восточного направления (В) (рис. 4, а). Наибольшая средняя скорость отмечена для ветровых явлений Ю и ЮВ направлений, данный показатель составил 4,57 и 5,5 м/с соответственно, минимальные показатели скорости ветра отмечены для С и СВ направлений, их значения составили 3,5 и 2 м/с (рис. 4, д), при этом показатели мутности воды достигали максимальных средних значений при ветровых явлениях с З и СЗ – 13,5 и 13,17 ед., а минимальных средних – при С и Ю – 8,22 и 8,12 ед. (рис. 4, б).

В результате статистического корреляционного анализа установлено, что мутность имеет статистически достоверную обратную заметную связь с показателем уровня воды: ($R_S = -0,60$; $P < 0,001$) и прямую умеренную – с показателем суточного прироста уровня воды ($R_S = 0,40$; $P < 0,05$). При анализе корреляции между показателями скорости ветра и мутности установлено, что статистически значимая связь отсутствует ($R_S = 0,12$; $P = 0,60$). Чтобы исключить влияние фактора уровня воды в период паводка на показатель мутности при исследовании связи мутности с показателем скорости ветра, эти переменные анализировали при устоявшемся уровне воды, когда среднесуточный прирост уровня воды за 3-суточное наблюдение составлял < 1 см/сут, для этого анализировали временные ряды данных с 15 мая, в результате также не отмечено статистически достоверной корреляции ($R_S = 0,37$; $P = 0,18$). При этом отмечается наличие обратной статистически достоверной заметной корреляционной связи между показателями мутности и температуры воды ($R_S = -0,48$; $P < 0,05$).

В процессе исследований неоднократно отмечалось, что увеличение мутности среды сопровождается наличием ветрового воздействия, возбуждающего волновое перемещение водных масс в исследуемом водоеме, при этом также возрастала численность регистрируемых гидроакустическим методом экземпляров молоди рыб в акватории р. Варпак (рис. 3, а и 4, б). В связи с этим проанализировали наличие корреляционной связи между показателем мутности и плотности рыб при смежных направлениях ветра – С и СЗ, С и СВ, Ю и ЮВ, Ю и ЮЗ, З и СЗ, З и ЮЗ. В результате выполненного анализа установлено, что имеется очень высокая прямая корреляция между

показателем мутности и плотности рыб при направлениях ветра С и СВ ($R_S = 0,90$; $P < 0,05$) и заметная обратная корреляция между данными показателями при направлениях ветра Ю и ЮЗ ($R_S = -0,52$; $P < 0,05$). В остальных случаях статистически достоверная корреляционная связь не обнаружена. В результате дальнейшего статистического анализа установлено, что при направлениях ветра С и СВ не отмечается достоверная корреляционная связь между долями карповых, окуневых и шуковых рыб при анализе с показателем мутности, а при анализе с направлениями ветра Ю и ЮЗ отмечена достоверная высокая обратная корреляционная связь ($R_S = -0,76$; $P < 0,05$) между показателем доли окуневых рыб и показателем мутности в акватории р. Варпак.

При корреляционном анализе между показателями долей таксономических групп, плотности рыб и переменными факторами среды за весь период наблюдений установлено наличие статистически достоверной умеренной прямой корреляционной связи между показателем мутности и долей карповых рыб ($R_S = 0,39$; $P < 0,05$), заметная связь отмечена между показателями уровня и температуры воды (с долей окуневых рыб) ($R_S = 0,51$; $P < 0,01$), прямая умеренная и заметная связи между показателем плотности и факторами уровня ($R_S = 0,43$; $P < 0,05$) и температуры воды ($R_S = 0,50$; $P < 0,01$) (табл.).

Анализ корреляционной связи между показателями абиотических факторов и показателями доли таксономических групп и плотности рыб р. Варпак (май, 2020 г.)

Фактор	Доля таксономических групп рыб, %			Плотность рыб, тыс. шт./га
	Карповые	Окуневые	Шуковые	
Мутность, ед. NTU	0,39*	-0,49**	0,03	-0,31
Скорость ветра, м/с	-0,07	<0,01	0,09	0,17
Уровень воды, см	-0,30	0,51**	-0,28	0,43*
Суточный прирост уровня воды, см/сут	0,33	-0,54**	0,32	-0,51**
Температура воды, °С	-0,27	0,51**	-0,36	0,50**
Суточный прирост температуры воды, °С	-0,10	0,03	0,07	0,04

*Корреляция значима на уровне $P < 0,05$; ** корреляция значима на уровне $P < 0,01$.

Обратная статистически достоверная умеренная и заметная корреляционные связи отмечены при анализе показателя мутности ($R_S = -0,49$; $P < 0,01$), суточного прироста уровня воды с долей окуневых рыб ($R_S = -0,54$; $P < 0,01$) соответственно. В остальных случаях достоверной корреляционной связи не обнаружено.

Анализ горизонтального распределения рыб в акватории р. Варпак в периоды ветровых явлений Ю и ЮЗ, С и СВ направлений выявил, что поля плотностей, характеризующие распределение рыб, вытянуты преимущественно в направлении, схожем с направлением соответствующих ветров (рис. 5, 6).

Ветровые явления и волны в акватории водоема могут быть основными факторами, влияющими на абиотические и биотические компоненты водных экосистем – от донных отложений и баланса питательных веществ до планктонных, бентосных и рыбных сообществ [24, 25]. Так, например, волны, вызванные сильными ветрами в зависимости от их интенсивности, могут снижать плотность кормовых беспозвоночных организмов, в результате чего снижается и численность питающейся молоди, при этом влияние атмосферных явлений на кормление молоди зависит от вида рыб [26–28]. В некоторых случаях увеличение скорости ветра может влиять на рост скорости миграции производителей рыб [29]. Показано, что в результате гидродинамического воздействия, вызванного волнами, личинки рыб рода *Alosa* становятся более активными и перемещаются в «спокойные» (неподвижные) горизонты водной толщи, избегая при этом придонного субстрата [30]. Установлено, что в период волнового воздействия молодь карповых рыб (елец и лещ) становится более активной [27]. Утверждается [30], что в результате активного перемещения в спокойные зоны водоема личинки рыб могут минимизировать некоторые негативные эффекты гидродинамических процессов: гибель, снижение численности кормовых организмов и т. д. [26–28]. Помимо прямого воздействия ветровые явления могут оказывать и опосредованное влияние на горизонтальное распределение рыб, т. к. установлено, что рыбы-планктофаги концентрируются в формируемых ветровыми явлениями зонах повышенной плотности зоо- и фитопланктона [31].

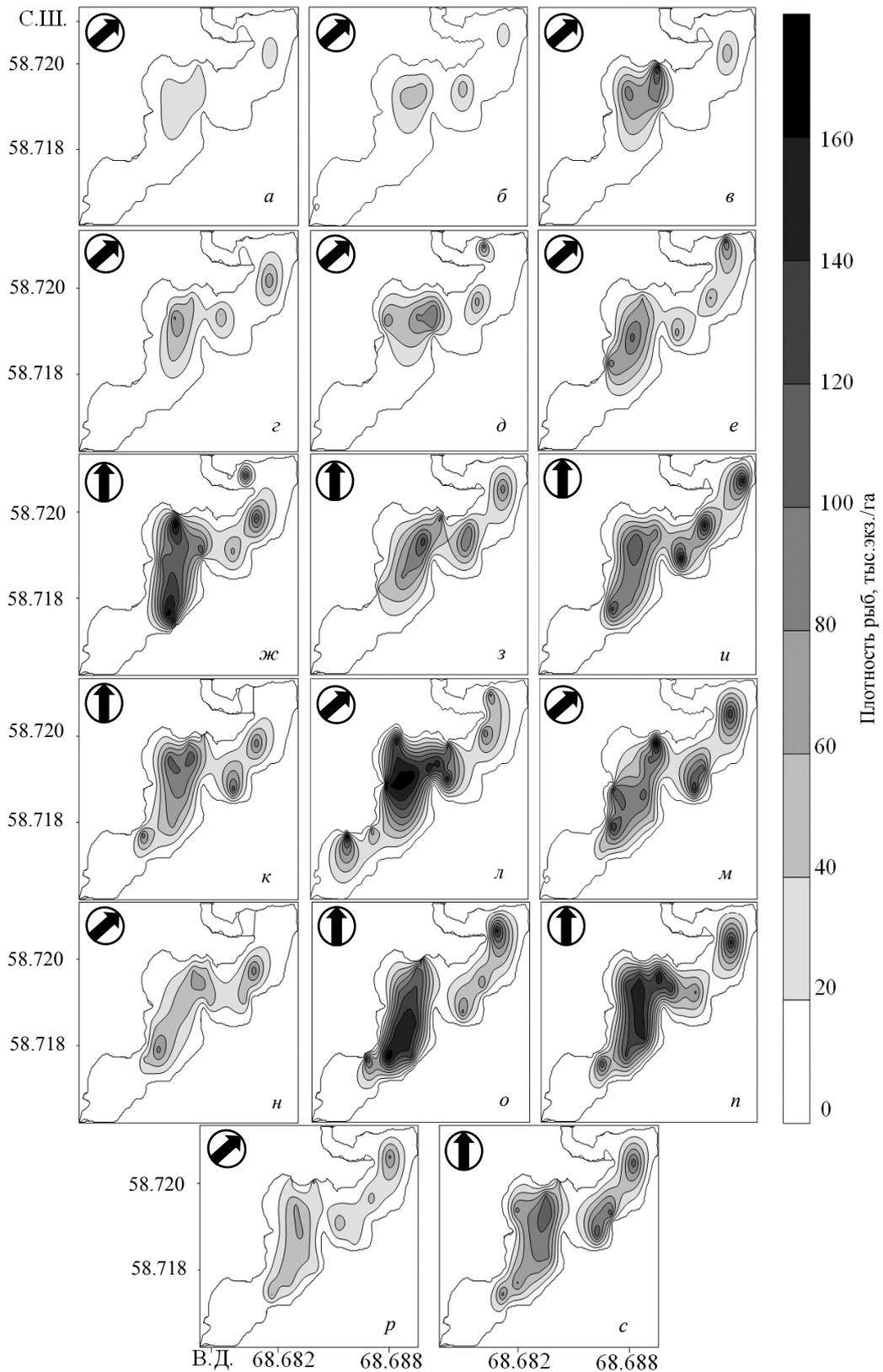


Рис. 5. Распределение рыб в акватории р. Варпак при Ю и ЮЗ направлении ветра (показано стрелкой): а – 2 мая; б – 5 мая; в – 6 мая; г – 7 мая; д – 8 мая; е – 9 мая; ж – 10 мая; з – 11 мая; и – 12 мая; к – 13 мая; л – 16 мая; м – 17 мая; н – 20 мая; о – 22 мая; п – 23 мая; р – 24 мая; с – 28 мая

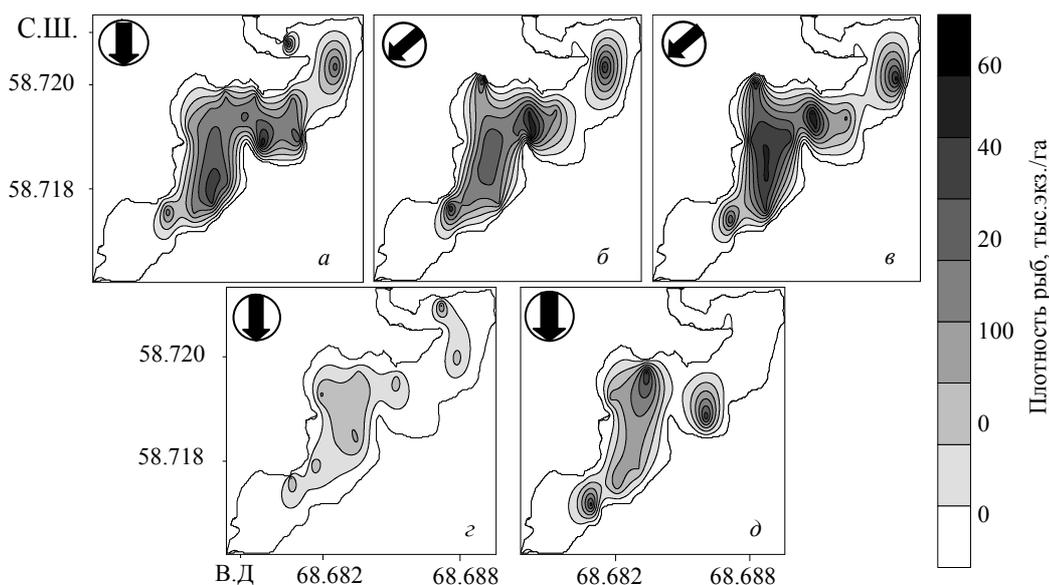


Рис. 6. Распределение рыб в акватории р. Варпак при С и СВ направлении ветра (показано стрелкой): а – 14 мая; б – 18 мая; в – 25 мая; з – 26 мая; д – 27 мая

В результате исследований закономерностей распределения молоди на примере сиговых рыб показано, что во время нагула на мелководьях временного заливного водоема (сора) не отмечается объединения ранних личинок по размерному сходству, в связи с этим в акватории исследуемого участка р. Варпак на пойменных разливах наблюдается одновременная регистрация разноразмерных особей молоди рыб (от <3 см и более крупных) [32]. Отмечаются различия в распределении молоди рыб под влиянием течения и ветра [32]. Отсутствие статистически достоверной корреляционной связи между показателем мутности и скорости ветра, вероятно, обусловлено тем, что влияние силы ветрового воздействия и показателя мутности водной среды в результате гидродинамического воздействия следовало бы анализировать с показателями, характеризующими подвижность водной среды, например, высотой или частотой волн и т. д. [33], поскольку установлено [24], что частота появления ветровых волн может существенно отличаться на различных участках водоема вдоль берега даже в небольших пространственных масштабах, а ветровое воздействие на поверхность водоема очень изменчиво, т. е. поле поверхностных волн в значительной степени неоднородно в пространственно-временном аспекте.

Хотя графически особенности распределения средней скорости ветровых явлений и показателя мутности в исследуемый период достаточно близки (см. рис. 4, з, д), некоторые различия все же проявляются при рассмотрении Ю, ЮВ и (в меньшей степени) СВ направлений, при этом следует отметить, что некоторыми исследователями все-таки подчеркивается [34, 35] наличие связи между ветровыми явлениями в акватории водоема и показателями мутности (волновая эрозия береговой линии, взмучивание донных отложений), иногда данным явлениям отводится доминирующая роль в формировании мутности [35, 36]. Следует отметить, что направление полей распределения рыб в определенной мере соответствовало С и СВ, Ю и ЮЗ направлениям ветровых явлений, при которых отмечены прямая и обратная корреляционные связи между показателями мутности и плотности рыб. В данных направлениях исследуемая акватория хоть и имеет ряд меандр, но вытянута с севера на юг и открыта для ветровых атмосферных явлений (не защищена возвышенностями рельефа и древесной растительностью). Таким образом, могли происходить стонно-нагонные волновые гидродинамические воздействия: с С и СВ – вынос кормовых организмов и перемещение рыб из зон мелководья в открытую часть акватории, при Ю и ЮЗ – напротив, на мелководные участки, где регистрация рыб гидроакустическим методом затруднена, в связи с этим, соответственно, происходило увеличение и уменьшение численности рыб при увеличении показателя мутности воды в периоды соответствующих направленных ветров. Таким образом, влияние ветровых атмосферных процессов на распределение рыб также подтверждается особен-

ностями форм и направлений полей распределения плотности рыб при рассматриваемых ветрах (см. рис. 5, 6). Некоторыми исследователями все же отмечается, что у молоди рыб по мере их роста обнаруживается активное перемещение и удержание в зоне растительности в период волнового воздействия, данные особенности наблюдали даже у личинок рыб [30]. Однако значительная сила фактора ветровых явлений при малых скоростях потока на распределение рыб подтверждается [37] возможностью прекращения покатной миграции молоди рыб при их перемещении ветровыми течениями от транзитного биотопа (поток) к резидентным (прибрежье), при этом [38] в пелагической части водоема при разнонаправленных и переменных ветровых течениях, не имеющих четкой структуры и направления, может осложняться ориентация молоди. С другой стороны, если скорость перемещения водных масс, возникающих в результате ветровых явлений, не превышает скорости плавания рыб, то концентрация рыб происходит за счет формирования повышенных плотностей кормовых организмов – зоопланктона [39], возникает возможность более интенсивного и успешного кормления при меньших биоэнергетических тратах.

Показатель мутности заметно влияет на долю мирных и хищных видов рыб, поскольку является одним из критически важных факторов водной среды, который контролирует взаимодействие хищников и жертв [40]. Достоверное снижение доли окуневых рыб при повышении мутности с ветровыми явлениями Ю и ЮЗ направлений также, по всей видимости, объясняется ветровым сгоном добычи (планктон) на мелководье.

Для окуня повышение мутности и турбулентности в открытой части р. Варпак может влиять на селективность в выборе кормовых объектов [41, 42], снижать успешность кормления [43], частоту встречи и вероятность обнаружения планктонных кормовых объектов в этой части водоема, при этом происходит переход хищника (окуня) к литоральной части и смене доминирующих кормовых объектов с планктона на бентос [44]. Для плотвы подобные условия среды, напротив, обуславливают переход на питание преимущественно планктонными ракообразными [44]. Обратная закономерность, т. е. прямая корреляционная связь доли карповых рыб и показателя мутности, также объясняется [40, 45] устойчивым отрицательным эффектом мутности на успех захвата добычи, расстояние обнаружения как для визуально, так и не визуально ориентированных рыбоядных хищников (хищная форма окуня, щука) [45–47], при этом отличие в размере глаз у хищников не влияет на величину эффекта, т. е. [48] при снижении плотности хищников возрастает численность жертв. Показано [44], что плотва более успешный планктофаг в сравнении с окунем, что, в свою очередь, также объясняет увеличение доли карповых рыб при снижении доли окуневых при переходе окуневых к литоральной части водоема в случае повышения показателя мутности водной среды.

Прямая связь, характеризующая возрастание доли окуневых рыб при увеличении уровня воды и ее температуры и при уменьшении показателя мутности, объясняется, прежде всего, тем [35], что в мелководных экосистемах с преобладанием рек сток играет главную роль в формировании мутности, т. к. поток несет в себе большое количество взвешенных веществ, формирующих мутность среды: при возрастании показателя уровня воды, имеющего прямую связь с температурным фактором, в р. Иртыш в период паводка создается подпор р. Варпак, в результате чего скорости течения в ней стремятся к «0», т. е. при повышении уровня воды мутность снижается и доля окуневых рыб возрастает, таким образом, показатель уровня воды влияет на динамику показателя мутности, который, в свою очередь, оказывает влияние на поведение и распределение рыб [40–42, 44–47]. Прямая корреляционная связь плотности рыб и уровня и температуры воды объясняется терморегуляционным поведением рыб [49] – их выходом с мелководных прогреваемых участков в открытую часть р. Варпак и их более равномерным распределением по всей акватории водоема в связи с прогревом воды в период исследований до оптимальных температур.

Заключение

В результате выполненных исследований установлено, что многофакторный набор некоторых характеристик и переменных среды определенным образом прямо или опосредованно влияет на горизонтальное распределение и численность регистрируемых рыб, в том числе и молоди, в водоеме. Особенности расположения и морфологии водоема (наличие мелководной и русловой части), доступность его поверхности разномасштабным перемещениям воздушных масс обеспечивают наличие ветровых явлений определенной интенсивности и направленности

в его акватории, вследствие чего наблюдается образование волн, которые влияют на гидродинамический режим, отмечается динамика показателя мутности, происходит сложное взаимодействие фаз «гидродинамическое воздействие» – «спокойная среда» с физическими факторами водного объекта. При повышении мутности плотность рыб и доля группы карповых рыб возрастает, для окуневых рыб отмечается обратная закономерность, их доля снижается, но при условии наличия ветровых явлений южного и юго-западного направления, формирующих волновое перемещение водных масс в сторону мелководных площадей акватории водоема.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rinke K., Huber A. M. R., Kempke S., Eder M., Wolf T., Probst W. N., Rothhaupt K.-O. Lake-wide distributions of temperature, phytoplankton, zooplankton, and fish in the pelagic zone of a large lake // *Limnology and Oceanography*. 2009. N. 54 (4). P. 1306–1322.
2. Parker G. A., Smith J. M. Optimality theory in evolutionary biology // *Nature*. 1990. N. 348 (6296). P. 27–33.
3. Pinel-Alloul P. Spatial heterogeneity as a multiscale characteristic of zooplankton community // *Hydrobiologia*. 1995. N. 300-301 (1). P. 17–42.
4. Nannini M. A., Goodrich J., Dettmers J. M., Soluk D. A., Wahl D. H. Larval and early juvenile fish dynamics in main channel and backwater lake habitats of the Illinois River ecosystem // *Ecology of Freshwater Fish*. 2012. N. 21. P. 499–509.
5. Saraux C., Fromentin J.-M., Bigot J.-L., Bourdeix J.-H., Morfin M., Roos D., Van Beveren E., Bez N. Spatial Structure and Distribution of Small Pelagic Fish in the Northwestern Mediterranean Sea // *PLoS ONE*. 2014. N. 9 (11). e111211.
6. Muška M., Tušer M., Frouzová J., Mrkvička T., Ricard D., Sed'a J., Morelli F., Kubečka J. Real-time distribution of pelagic fish: combining hydroacoustics, GIS and spatial modelling at a fine spatial scale // *Scientific Reports*. 2018. N. 8 (5381). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23762-z> (дата обращения: 21.08.2020).
7. Jeppesen E., Pekcan-Hekim Z., Lauridsen T. L., Søndergaard M., Jensen J. P. Habitat distribution of fish in late summer: changes along a nutrient gradient in Danish lakes // *Ecology of Freshwater Fish*. 2006. N. 15. P. 180–190.
8. Buisson L., Blanc L., Grenouillet G. Modelling stream fish species distribution in a river network: the relative effects of temperature versus physical factors // *Ecology of Freshwater Fish*. 2008. N. 17 (2). P. 244–257.
9. Burgad A. A., Adams G. L., Adams R. Temporal and spatial dynamics of fish community structure during watershed alteration in two Ouachita River systems // *Ecology of Freshwater Fish*. 2019. N. 28 (3). P. 459–472.
10. Tucker T. R., DeBruyne R. L., Roseman E. F., Larson D., McNaught A. S. Assessment of larval fish assemblages and nursery habitat in the St. Clair River delta // *Journal of Great Lakes Research*. 2019. N. 45 (4). P. 762–776.
11. Górski K., Buijse A. D., Winter H. V., De Leeuw J. J., Compton T. J., Vekhov D. A., Zolotarev D. V., Verreth J. A. J., Nagelkerke L. A. J. Geomorphology and flooding shape fish distribution in a large-scale temperate floodplain // *River Research and Applications*. 2012. N. 29 (10). P. 1226–1236.
12. Brown C. Habitat-predator association and avoidance in rainbowfish (*Melanotaenia* spp.) // *Ecology of Freshwater Fish*. 2003. N. 12 (2). P. 118–126.
13. Lautala T., Hirvonen H. Antipredator behaviour of naïve Arctic charr young in the presence of predator odours and conspecific alarm cues // *Ecology of Freshwater Fish*. 2008. N. 17 (1). P. 78–85.
14. Lloren J. I., Davidson S. M., Twardek W. M., Elvidge C. K. Baseline activity and shoal type determine antipredator behaviors in bluegill from a southern Ontario lake // *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 2019. N. 73 (5). URL: <https://doi.org/10.1007/s00265-019-2669-9> (дата обращения: 21.08.2020).
15. Gerber K. M., Mather M. E., Smith J. M., Peterson Z. J. Multiple metrics provide context for the distribution of a highly mobile fish predator, the blue catfish // *Ecology of Freshwater Fish*. 2018. N. 28 (1). P. 141–155.
16. Naus C. J., Reid Adams S. Fish nursery habitat function of the main channel, floodplain tributaries and oxbow lakes of a medium-sized river // *Ecology of Freshwater Fish*. 2016. N. 27 (1). P. 4–18.
17. Farrell J. M., Mead J. V., Murry B. A. Protracted spawning of St Lawrence River northern pike (*Esox lucius*): simulated effects on survival, growth, and production // *Ecology of Freshwater Fish*. 2006. N. 15 (2). P. 169–179.
18. Spurgeon J. J., Pegg M. A., Hamel M. J., Steffensen K. D. Spatial structure of large-river fish populations across main-stem and tributary habitats // *River Research and Applications*. 2018. N. 34 (7). P. 807–815.
19. Barra M., Petúgas P., Bonanno A., Somarakis S., Woillez M., Machias A., Mazzola S., Basilone G., Giannoulaki M. Interannual Changes in Biomass Affect the Spatial Aggregations of Anchovy and Sardine as Evidenced by Geostatistical and Spatial Indicators // *PLOS ONE*. 2015. N. 10 (8). e0135808.
20. Simmonds J., MacLennan D. (Eds.). *Fisheries Acoustics*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2005. 437 p.
21. Юданов К. И., Калихман И. Л., Теслер В. Д. Руководство по проведению гидроакустических съемок. М.: Изд-во ВНИРО, 1984. 1124 с.

22. *Borisenko E. S., Mochev A. D., Pavlov D. S., Degtev A. I.* Hydroacoustic characteristics of mass fishes of the Ob-Irtysh basin // *Journal of ichthyology*. 2006. N. 46 (2). P. 227–234.
23. *Подробные метеорологические данные*. URL: <https://rusmeteo.net> (дата обращения: 29.05.2020).
24. *Seibt C., Peeters F., Graf M., Sprenger M., Hofmann H.* Modeling wind waves and wave exposure of nearshore zones in medium-sized lakes // *Limnology and Oceanography*. 2012. N. 58 (1). P. 23–36.
25. *Gabel F., Lorenz S., Stoll S.* Effects of ship-induced waves on aquatic ecosystems // *Science of The Total Environment*. 2017. N. 601–602. P. 926–939.
26. *Huusko A., Sutela T.* Diel feeding periodicity in larvae of the vendace (*Coregonus albula* L.) and influence of food availability and environmental factors on food intake // *Ecology of Freshwater Fish*. 1998. N. 7. P. 69–77.
27. *Gabel F., Stoll S., Fischer P., Pusch M. T., Garcia X.-F.* Waves affect predator–prey interactions between fish and benthic invertebrates // *Oecologia*. 2010. N. 165 (1). P. 101–109.
28. *Turley B. D., Rykaczewski R. R.* Influence of wind events on larval fish mortality rates in the southern California Current Ecosystem // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2019. N. 76 (12). P. 2418–2432.
29. *Reckordt M., Ubl C., Wagner C., Frankowski J., Dorow M.* Downstream migration dynamics of female and male silver eels (*Anguilla anguilla* L.) in the regulated German lowland Warnow River // *Ecology of Freshwater Fish*. 2014. N. 23. P. 7–20.
30. *Stoll S., Beeck P.* Larval fish in troubled waters – is the behavioural response of larval fish to hydrodynamic impacts active or passive? // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2012. N. 69 (10). P. 1576–1584.
31. *George D. G., Winfield I. J.* Factors influencing the spatial distribution of zooplankton and fish in Loch Ness, UK // *Freshwater Biology*. 2000. N. 43 (4). P. 557–570.
32. *Богданов В. Д.* Пространственная структура и выживаемость личинок сиговых рыб в пойменном водоеме // *Изучение экологии водных организмов Восточного Урала*. Свердловск: Изд-во Акад. наук СССР, 1992..
33. *Fleit G., Baranya S., Krámer T., Bihs H., Józsa J.* A practical framework to assess the hydrodynamic impact of ship waves on river banks // *River Research and Applications*. 2019. N. 35 (9). P. 1428–1442.
34. *Valipour R., Boegman L., Bouffard D., Rao Y. R.* Sediment resuspension mechanisms and their contributions to high-turbidity events in a large lake // *Limnology and Oceanography*. 2017. N. 62 (3). P. 1045–1065.
35. *Niu Q., Xia M., Ludsin S. A., Chu P. Y., Mason D. M., Rutherford E. S.* High-turbidity events in Western Lake Erie during ice-free cycles: Contributions of river-loaded vs. resuspended sediments // *Limnology and Oceanography*. 2018. N. 63 (6). P. 2545–2562.
36. *McKinney P., Austin J., Fa G.* The wind-driven formation of cross-shelf sediment plumes in a large lake // *Limnology and Oceanography*. 2019. N. 64 (3). P. 1309–1322.
37. *Pavlov D. S., Mikheev V. N., Kostin V. V.* Migrations of Fish Juveniles in Dammed Rivers: the Role of Ecological Barriers // *Journal of Ichthyology*. 2019. N. 59 (2). P. 234–245.
38. *Pavlov D. S., Mikheev V. N., Kostin V. V.* Migrations of Young Fish in Regulated Rivers: Effects of Ecological Filters (Review) // *Inland Water Biology*. 2020. N. 13 (2). P. 262–272.
39. *De Kerckhove D. T., Blukacz-Richards E. A., Shuter B. J., Cruz-Font L., Abrams P. A.* Wind on lakes brings predator and prey together in the pelagic zone // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2015. N. 72 (11). P. 1652–1662.
40. *Ortega J. C. G., Figueiredo B. R. S., Graça W. J., Agostinho A. A., Bini L. M.* Negative effect of turbidity on prey capture for both visual and non-visual aquatic predators // *Journal of Animal Ecology*. 2020. N. 00. P. 1–13.
41. *Ranåker L., Persson J., Jönsson M., Nilsson P. A., Brönmark C.* Piscivore-Prey Fish Interactions: Mechanisms behind Diurnal Patterns in Prey Selectivity in Brown and Clear Water // *PLoS ONE*. 2014. N. 9 (11). e102002.
42. *Härkönen L., Pekcan-Hekim Z., Hellén N., Ojala A., Horppila J.* Combined Effects of Turbulence and Different Predation Regimes on Zooplankton in Highly Colored Water – Implications for Environmental Change in Lakes // *PLoS ONE*. 2014. N. 9 (11). e111942.
43. *Pekcan-Hekim Z., Joensuu L., Horppila J.* Predation by a visual planktivore perch (*Perca fluviatilis*) in a turbulent and turbid environment // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2013. N. 70 (6). P. 854–859.
44. *Pekcan-Hekim Z., Hellén N., Härkönen L., Nilsson P. A., Nurminen L., Horppila J.* Bridge under troubled water: Turbulence and niche partitioning in fish foraging // *Ecology and Evolution*. 2016. N. 6 (24). P. 8919–8930.
45. *Ranåker L., Jönsson M., Nilsson P. A., Brönmark C.* Effects of brown and turbid water on piscivore-prey fish interactions along a visibility gradient // *Freshwater Biology*. 2012. N. 57 (9). P. 1761–1768.
46. *Jönsson M., Ranåker L., Anders Nilsson P., Brönmark C.* Prey-type-dependent foraging of young-of-the-year fish in turbid and humic environments // *Ecology of Freshwater Fish*. 2012. N. 21 (3). P. 461–468.
47. *Jönsson M., Ranåker L., Nilsson P. A., Brönmark C.* Foraging efficiency and prey selectivity in a visual predator: differential effects of turbid and humic water // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2013. N. 70 (12). P. 1685–1690.
48. *Anders N. P.* Predator behaviour and prey density: evaluating density-dependent intraspecific interactions on predator functional responses // *Journal of Animal Ecology*. 2001. N. 70 (1). P. 14–19.

49. Голованов В. К. Терморегуляционное поведение рыб. Видовые и внутривидовые особенности // Поведение рыб: материалы докл. V Всерос. конф. (Борок, 8–9 ноября 2014 г.). Кострома: Костром. печат. дом, 2014. С. 30–36.

Статья поступила в редакцию 21.10.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Чемагин Андрей Александрович – Россия, 626152, Тобольск; Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения Российской академии наук; канд. биол. наук; старший научный сотрудник группы экологии гидробионтов; ChemaginAA@yandex.ru.



INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON FEATURES AND DISTRIBUTION DYNAMICS OF FISH IN SMALL TRIBUTARY OF IRTYSH RIVER

A. A. Chemagin

*Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Tyumen region, Tobolsk, Russian Federation*

Abstract. The article focuses on the studies carried out in the flooded floodplain of the small river Varpak in the basin of the lower Irtysh during the spring flood (in May). The influence of abiotic factors on the distribution of fish, including juveniles of cyprinids, percids and pike was analyzed. It was found that during the research period there was a direct correlation between the fish density and the temperature and water level, i.e. the fish density increased, as well as the mentioned indicators. There was found the regularity of decreasing the proportion of percids and fish density along with increasing water turbidity in the periods of the southern (S) and south-western (SW) winds, which is stipulated by the wind and wave fish set-down and their independent movement to the shallow areas of the flooded floodplain; In the periods of the north (N) and northeast (NE) winds the fish density increased along with water turbidity, i.e. the fish moved from the shallow water zones to the open water area. The investigated section of the Varpak River is open to the winds of the mentioned directions due of its location and relief. When considering the direction of the fish density distribution during the period of wind events S, SW, N and NE, there has been registered the similarity between the wind direction and the fish distribution in the water area of the floodplain. As a result of the analysis during the observation period the influence of the turbidity factor on the distribution of fish is noted; the greater turbidity, the greater the proportion of cyprinids and the lower the proportion of percids, which can be explained by the specific behavior of these groups of fish. Thus, there is a direct and indirect effect of a number of environmental factors (temperature and water level, wind phenomena and turbidity) on the characteristics and dynamics of fish distribution in the flooded floodplain of the river in the spring period.

Keywords: fish distribution, river, floodplain, water level, turbidity, water temperature, fish density, wind direction, waves.

For citation: Chemagin A. A. Influence of abiotic factors on features and distribution dynamics of fish in small tributary of Irtysh river. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2020;4:66-80. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2020-4-66-80.

REFERENCES

1. Rinke K., Huber A. M. R., Kempke S., Eder M., Wolf T., Probst W. N., Rothhaupt K.-O. Lake-wide distributions of temperature, phytoplankton, zooplankton, and fish in the pelagic zone of a large lake. *Limnology and Oceanography*, 2009, no. 54 (4), pp. 1306-1322.
2. Parker G. A., Smith J. M. Optimality theory in evolutionary biology. *Nature*, 1990, no. 348 (6296), pp. 27-33.

3. Pinel-Alloul P. Spatial heterogeneity as a multiscale characteristic of zooplankton community. *Hydrobiologia*, 1995, no. 300-301 (1), pp. 17-42.
4. Nannini M. A., Goodrich J., Dettmers J. M., Soluk D. A., Wahl D. H. Larval and early juvenile fish dynamics in main channel and backwater lake habitats of the Illinois River ecosystem. *Ecology of Freshwater Fish*, 2012, no. 21, pp. 499-509.
5. Saraux C., Fromentin J.-M., Bigot J.-L., Bourdeix J.-H., Morfin M., Roos D., Van Beveren E., Bez N. Spatial Structure and Distribution of Small Pelagic Fish in the Northwestern Mediterranean Sea. *PLoS ONE*, 2014, no. 9 (11), e111211.
6. Muška M., Tušer M., Frouzová J., Mrkvička T., Ricard D., Sed'a J., Morelli F., Kubečka J. Real-time distribution of pelagic fish: combining hydroacoustics, GIS and spatial modelling at a fine spatial scale. *Scientific Reports*, 2018, no. 8 (5381). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23762-z> (accessed: 21.08.2020).
7. Jeppesen E., Pekcan-Hekim Z., Lauridsen T. L., Søndergaard M., Jensen J. P. Habitat distribution of fish in late summer: changes along a nutrient gradient in Danish lakes. *Ecology of Freshwater Fish*, 2006, no. 15, pp. 180-190.
8. Buisson L., Blanc L., Grenouillet G. Modelling stream fish species distribution in a river network: the relative effects of temperature versus physical factors. *Ecology of Freshwater Fish*, 2008, no. 17 (2), pp. 244-257.
9. Burgad A. A., Adams G. L., Adams R. Temporal and spatial dynamics of fish community structure during watershed alteration in two Ouachita River systems. *Ecology of Freshwater Fish*, 2019, no. 28 (3), pp. 459-472.
10. Tucker T. R., DeBruyne R. L., Roseman E. F., Larson D., McNaught A. S. Assessment of larval fish assemblages and nursery habitat in the St. Clair River delta. *Journal of Great Lakes Research*, 2019, no. 45 (4), pp. 762-776.
11. Górski K., Buijse A. D., Winter H. V., De Leeuw J. J., Compton T. J., Vekhov D. A., Zolotarev D. V., Verreth J. A. J., Nagelkerke L. A. J. Geomorphology and flooding shape fish distribution in a large-scale temperate floodplain. *River Research and Applications*, 2012, no. 29 (10), pp. 1226-1236.
12. Brown C. Habitat-predator association and avoidance in rainbowfish (*Melanotaenia* spp.). *Ecology of Freshwater Fish*, 2003, no. 12 (2), pp. 118-126.
13. Lautala T., Hirvonen H. Antipredator behaviour of naïve Arctic charr young in the presence of predator odours and conspecific alarm cues. *Ecology of Freshwater Fish*, 2008, no. 17 (1), pp. 78-85.
14. Lloren J. I., Davidson S. M., Twardek W. M., Elvidge C. K. Baseline activity and shoal type determine antipredator behaviors in bluegill from a southern Ontario lake. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2019, no. 73 (5). Available at: <https://doi.org/10.1007/s00265-019-2669-9> (accessed: 21.08.2020).
15. Gerber K. M., Mather M. E., Smith J. M., Peterson Z. J. Multiple metrics provide context for the distribution of a highly mobile fish predator, the blue catfish. *Ecology of Freshwater Fish*, 2018, no. 28 (1), pp. 141-155.
16. Naus C. J., Reid Adams S. Fish nursery habitat function of the main channel, floodplain tributaries and oxbow lakes of a medium-sized river. *Ecology of Freshwater Fish*, 2016, no. 27 (1), pp. 4-18.
17. Farrell J. M., Mead J. V., Murry B. A. Protracted spawning of St Lawrence River northern pike (*Esox lucius*): simulated effects on survival, growth, and production. *Ecology of Freshwater Fish*, 2006, no. 15 (2), pp. 169-179.
18. Spurgeon J. J., Pegg M. A., Hamel M. J., Steffensen K. D. Spatial structure of large-river fish populations across main-stem and tributary habitats. *River Research and Applications*, 2018, no. 34 (7), pp. 807-815.
19. Barra M., Petitgas P., Bonanno A., Somarakis S., Woillez M., Machias A., Mazzola S., Basilone G., Giannoulaki M. Interannual Changes in Biomass Affect the Spatial Aggregations of Anchovy and Sardine as Evidenced by Geostatistical and Spatial Indicators. *PLoS ONE*, 2015, no. 10 (8), e0135808.
20. Simmonds J., MacLennan D. (Eds.). *Fisheries Acoustics*. Oxford, Blackwell Publishing Ltd, 2005. 437 p.
21. Iudanov K. I., Kalikhman I. L., Tesler V. D. *Rukovodstvo po provedeniiu gidroakusticheskikh s"emok* [Hydroacoustic Survey Guide]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 1984. 1124 p.
22. Borisenko E. S., Mochev A. D., Pavlov D. S., Degtev A. I. Hydroacoustic characteristics of mass fishes of the Ob-Irtysh basin. *Journal of ichthyology*, 2006, no. 46 (2), pp. 227-234.
23. *Podrobnyye meteorologicheskie dannye* [Detailed meteorological data]. Available at: <https://rusmeteo.net> (accessed: 29.05.2020).
24. Seibt C., Peeters F., Graf M., Sprenger M., Hofmann H. Modeling wind waves and wave exposure of nearshore zones in medium-sized lakes. *Limnology and Oceanography*, 2012, no. 58 (1), pp. 23-36.
25. Gabel F., Lorenz S., Stoll S. Effects of ship-induced waves on aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment*, 2017, no. 601-602, pp. 926-939.
26. Huusko A., Sutela T. Diel feeding periodicity in larvae of the vendace (*Coregonus albula* L.) and influence of food availability and environmental factors on food intake. *Ecology of Freshwater Fish*, 1998, no. 7, pp. 69-77.
27. Gabel F., Stoll S., Fischer P., Pusch M. T., Garcia X.-F. Waves affect predator – prey interactions between fish and benthic invertebrates. *Oecologia*, 2010, no. 165 (1), pp. 101-109.
28. Turley B. D., Rykaczewski R. R. Influence of wind events on larval fish mortality rates in the southern California Current Ecosystem. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2019, no. 76 (12), pp. 2418-2432.
29. Reckordt M., Ubl C., Wagner C., Frankowski J., Dorow M. Downstream migration dynamics of female and male silver eels (*Anguilla anguilla* L.) in the regulated German lowland Warnow River. *Ecology of Freshwater Fish*, 2014, no. 23, pp. 7-20.
30. Stoll S., Beeck P. Larval fish in troubled waters – is the behavioural response of larval fish to hydrodynamic impacts active or passive? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2012, no. 69 (10), pp. 1576-1584.

31. George D. G., Winfield I. J. Factors influencing the spatial distribution of zooplankton and fish in Loch Ness, UK. *Freshwater Biology*, 2000, no. 43 (4), pp. 557-570.
32. Bogdanov V. D. Prostranstvennaia struktura i vyzhivaemost' lichinok sigovykh ryb v poimennom vodoeme. Prostranstvennaia struktura i vyzhivaemost' lichinok sigovykh ryb v poimennom vodoeme [Spatial structure and survival of whitefish larvae in floodplain water body. Spatial structure and survival of whitefish larvae in a floodplain water body]. *Izuchenie ekologii vodnykh organizmov Vostochnogo Urala*. Sverdlovsk, Izd-vo Akad. nauk SSSR, 1992. Pp. 27-46.
33. Fleit G., Baranya S., Krámer T., Bihs H., Józsa J. A practical framework to assess the hydrodynamic impact of ship waves on river banks. *River Research and Applications*, 2019, no. 35 (9), pp. 1428-1442.
34. Valipour R., Boegman L., Bouffard D., Rao Y. R. Sediment resuspension mechanisms and their contributions to high-turbidity events in a large lake. *Limnology and Oceanography*, 2017, no. 62 (3), pp. 1045-1065.
35. Niu Q., Xia M., Ludsins S. A., Chu P. Y., Mason D. M., Rutherford E. S. High-turbidity events in Western Lake Erie during ice-free cycles: Contributions of river-loaded vs. resuspended sediments. *Limnology and Oceanography*, 2018, no. 63 (6), pp. 2545-2562.
36. McKinney P., Austin J., Fa G. The wind-driven formation of cross-shelf sediment plumes in a large lake. *Limnology and Oceanography*, 2019, no. 64 (3), pp. 1309-1322.
37. Pavlov D. S., Mikheev V. N., Kostin V. V. Migrations of Fish Juveniles in Dammed Rivers: the Role of Ecological Barriers. *Journal of Ichthyology*, 2019, no. 59 (2), pp. 234-245.
38. Pavlov D. S., Mikheev V. N., Kostin V. V. Migrations of Young Fish in Regulated Rivers: Effects of Ecological Filters (Review). *Inland Water Biology*, 2020, no. 13 (2), pp. 262-272.
39. De Kerckhove D. T., Blukacz-Richards E. A., Shuter B. J., Cruz-Font L., Abrams P. A. Wind on lakes brings predator and prey together in the pelagic zone. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2015, no. 72 (11), pp. 1652-1662.
40. Ortega J. C. G., Figueiredo B. R. S., Graça W. J., Agostinho A. A., Bini L. M. Negative effect of turbidity on prey capture for both visual and non-visual aquatic predators. *Journal of Animal Ecology*, 2020, no. 00, pp. 1-13.
41. Ranåker L., Persson J., Jönsson M., Nilsson P. A., Brönmark C. Piscivore-Prey Fish Interactions: Mechanisms behind Diurnal Patterns in Prey Selectivity in Brown and Clear Water. *PLoS ONE*, 2014, no. 9 (11), e102002.
42. Härkönen L., Pekcan-Hekim Z., Hellén N., Ojala A., Horppila J. Combined Effects of Turbulence and Different Predation Regimes on Zooplankton in Highly Colored Water – Implications for Environmental Change in Lakes. *PLoS ONE*, 2014, no. 9 (11), e111942.
43. Pekcan-Hekim Z., Joensuu L., Horppila J. Predation by a visual planktivore perch (*Perca fluviatilis*) in a turbid and turbid environment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2013, no. 70 (6), pp. 854-859.
44. Pekcan-Hekim Z., Hellén N., Härkönen L., Nilsson P. A., Nurminen L., Horppila J. Bridge under troubled water: Turbulence and niche partitioning in fish foraging. *Ecology and Evolution*, 2016, no. 6 (24), pp. 8919-8930.
45. Ranåker L., Jönsson M., Nilsson P. A., Brönmark C. Effects of brown and turbid water on piscivore-prey fish interactions along a visibility gradient. *Freshwater Biology*, 2012, no. 57 (9), pp. 1761-1768.
46. Jönsson M., Ranåker L., Anders Nilsson P., Brönmark C. Prey-type-dependent foraging of young-of-the-year fish in turbid and humic environments. *Ecology of Freshwater Fish*, 2012, no. 21 (3), pp. 461-468.
47. Jönsson M., Ranåker L., Nilsson P. A., Brönmark C. Foraging efficiency and prey selectivity in a visual predator: differential effects of turbid and humic water. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2013, no. 70 (12), pp. 1685-1690.
48. Anders N. P. Predator behaviour and prey density: evaluating density-dependent intraspecific interactions on predator functional responses. *Journal of Animal Ecology*, 2001, no. 70 (1), pp. 14-19.
49. Golovanov V. K. Termoregulatsionnoe povedenie ryb. Vidovye i vnutrividovye osobennosti [Thermoregulatory behavior of fish. Specific and intraspecific features]. *Povedenie ryb: materialy dokladov V Vserossiiskoi konferentsii (Borok, 8–9 noiabria 2014 g.)*. Kostroma, Kostromskoi pechatnyi dom, 2014. Pp. 30-36.

The article submitted to the editors 21.10.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Chemagin Andrey Aleksandrovich – Russia, 626152, Tobolsk; Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Candidate of Biology; Senior Researcher of the Group of Ecology of Aquatic Organisms; ChemaginAA@yandex.ru.

