

DOI: 10.24143/2073-5529-2018-4-96-103
УДК 597.2/5; 556.5

А. А. Чемагин

ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ (ВОДОВОРОТЫ) В АКВАТОРИИ РУСЛОВОЙ ЯМЫ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЫБ

Исследования выполнены в летний период гидроакустическим методом с борта маломерного судна, с одновременным проведением контрольного лова рыбы в нижнем течении р. Иртыш на участке Горнослинкинской русловой зимовальной ямы. Метод исследований базируется на использовании компьютеризированного гидроакустического программно-технического комплекса PanCor (ООО «Промгидроакустика»). Запись гидроакустической съемки обрабатывали в лабораторных условиях. Отмечены и описаны особенности распределения рыб в турбулентном потоке русловой ямы на изгибе русла. Зарегистрированы значительные скопления рыб в зонах вертикальных вихревых структур – водоворотах. Водовороты регистрируются как визуально, так и гидроакустически. Регистрируемые вихревые структуры образуются в результате гидрологических особенностей русла исследуемого участка реки. Установлена значимая ($p < 0,05$) высокая прямая корреляционная связь (более 0,70) числа рыб всех таксономических групп (карповые, окуневые, сиговые, щуковые, осетровые, налимовые) и величины высоты водяного столба вихревых структур. Число рыб в зонах вихрей достоверно превышает данный показатель вне этих зон: для карповых рыб в 2,61, окуневых в 1,47, сиговых-щучковых в 2,80, осетровых-налимовых в 2,50 раза. Установлено, что в зоне водоворотов процентные доли мелких особей и рыб средних размеров (менее 20 см) превышают таковые вне вихревых структур. Для групп рыб большего размера (более 20 см), наоборот, процентные доли больше вне зон вихрей. Формирование скоплений рыб в водоворотной части русловой ямы происходит, с одной стороны, в результате выбора ими необходимых условий местообитания, имеющих компонент предсказуемости, с другой – вследствие временного затягивания и удержания рыб в зоне вихрей.

Ключевые слова: скопления рыб, турбулентность, водоворот, вихрь, распределение рыб в потоке, меандра, Обь-Иртышский бассейн.

Введение

Пригодные местообитания для различных видов гидробионтов характеризуются различными параметрами водной среды, из гидравлических это скорость течения, глубина, турбулентность и ее интенсивность. В свою очередь, русловые зимовальные ямы Нижнего Иртыша расположены, как правило, на резких изгибах русла (меандрах), в результате чего в их акватории формируются и регистрируются как визуально, так и гидроакустическим методом вертикальные вихревые структуры, называемые водоворотами [1, 2]. Вихревые структуры различаются по размеру: от больших (в пределах бассейна океана) до очень маленьких (масштаб Колмогорова) [3]. Возникновение водоворотов в акваториях ям происходит в горизонтально движущемся потоке реки в результате локального кругового вращения водных масс [4]. Роль турбулентности, возникающей в потоке реки, для гидробионтов многогранна. Она мало изучена, но является важным направлением в понимании биоэнергетики и поведения рыб. Речные потоки, характеризующиеся хаотическими и широкими колебаниями скорости, могут значительно отклонять рыб от направления их движения, а имеющие компонент предсказуемости могут привлекать [5]. Таким образом, турбулентность является важным экологическим фактором, влияющим на распределение и обилие рыб, и, следовательно, затрагивает фундаментальные вопросы в области экологии гидробионтов.

В связи с этим *целью работы* стало выявление особенностей распределения рыб в зонах акватории русловой ямы с водоворотами и вне их.

Материал и методика

Исследования выполнены в летний период 2015 г. в акватории Горнослинкинской русловой зимовальной ямы, расположенной в Уватском районе Тюменской области. Использовали гидроакустический программно-технический комплекс PanCor с вертикальным обзором двойным лучом с рабочими частотами 50 и 200 кГц. Во время исследований выполняли гидроакустическую съемку с борта маломерного судна согласно общепринятым методикам [6]. Полученную запись съемки в дальнейшем обрабатывали в лабораторных условиях специальными программными приложениями PanCor, Taxonometry. Таксономическое распознавание основано на различии форм

плавательного пузыря у рыб различных групп: карповые, окуневые, сиговые-щукковые, осетровые-налимовые [7]. Для контроля видового состава рыб применяли лов контрольными ставными и плавными сетями (размер ячеи 14, 25, 35, 45, 55, 65 мм, длина сети 35–75 м).

Статистический анализ проводили в программе Statistica 10 (StatSoft). До выполнения статистического анализа проведена проверка нормальности распределения анализируемых данных тестами Шапиро – Уилка и Колмогорова – Смирнова. Установлено, что выполняются следующие условия: уровень значимости данных тестов $p > 0,05$ и $p > 0,20$ соответственно, а стандартная ошибка коэффициента асимметрии не превышает более чем в 3 раза коэффициент асимметрии по модулю. Таким образом, анализируемые ряды данных числа рыб в зонах вихрей и вне их, а также величины высоты вихрей и глубин являются нормально распределенными данными. В связи с этим в дальнейшем использовали критерии параметрической статистики: для оценки достоверности отличия t -критерий Стьюдента зависимых выборок, для определения корреляции и ее направленности – коэффициент Пирсона и регрессионный анализ соответственно. 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).

Результаты исследований и их обсуждение

В результате статистического анализа распределения рыб по их числу для различных таксономических групп в зонах вихрей (V) и вне их (A) для всех исследуемых семейств установлена высокая достоверность различия при уровне значимости $p < 0,001$ (табл. 1).

Таблица 1

Достоверность различия распределения рыб (по показателю их численности) в зонах вихрей (V) и вне их (A) в акватории Горнослинкинской русловой ямы (t -критерий Стьюдента)*

Группы рыб	Пара переменных	t -критерий	Уровень значимости (p)
CPR	$V \times A$	-5,923	$< 0,001$
PRC	$V \times A$	-4,417	$< 0,001$
CRG-ESC	$V \times A$	-4,984	$< 0,001$
ACP-LTD	$V \times A$	-5,306	$< 0,001$

*Курсивом отмечены значимые показатели критерия ($p < 0,05$).

Данная закономерность отражает достоверное увеличение численности рыб всех регистрируемых таксономических групп в зонах вертикальных вихревых структур русловой ямы. Среднее число рыб различных таксономических групп в зонах вихревых структур значительно превышало данный показатель вне зон водоворотов для карповых рыб в 2,61, окуневых в 1,47, сиговых-щукковых в 2,80, осетровых-налимовых в 2,50 раза. Среднее число рыб по точкам наблюдений в зонах вихревых структур и вне их в акватории русловой ямы составило для карповых 61 и 159, окуневых 17 и 25, сиговых-щукковых 5 и 14, осетровых-налимовых 4 и 10 экз. соответственно (рис. 1).

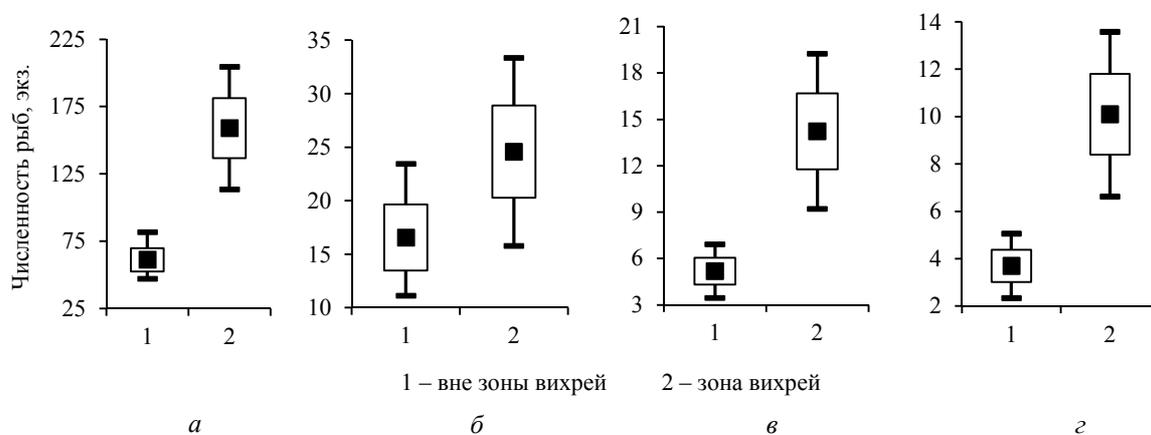


Рис. 1. Средние значения (■) показателя числа рыб по точкам регистрации, размах колебаний $X_{cp} \pm m$ (□), доверительный интервал среднего ($\top \perp$) при $p < 0,05$: карповые (а); окуневые (б); сиговые-щукковые (в); осетровые-налимовые (г)

При анализе наличия, направленности и силы корреляционной связи между числом рыб и глубиной ямы, а также высотой водяного столба вертикального водоворота (вихря) в обоих случаях установлено наличие прямой значимой корреляции. Величина корреляционной связи распределения рыб в зависимости от глубин в акватории русловой ямы вне зоны вихревых структур заметная и находится в интервале 0,51–0,54. Анализ распределения рыб в зависимости от глубин в зоне водоворотов также выявил наличие значимой прямой корреляционной связи, которая для группы осетровых-налимовых рыб была заметной (0,64), для всех остальных групп данная связь высокая ($> 0,70$). Значимая высокая прямая корреляционная связь ($> 0,70$) установлена для всех групп рыб при анализе зависимости от величин высоты водяного столба вихревых структур (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2

Корреляции числа рыб в зависимости от величины водяного столба вихря ($H(T)$), глубин в акватории ямы в зоне вихрей ($H+T$) и вне их (H)*

Группы рыб	H , м	$(H+T)$, м	$H(T)$, м
CPR	0,54	0,74	0,74
PRC	0,51	0,75	0,74
CRG-ESC	0,51	0,74	0,72
ACP-LTD	0,53	0,64	0,74

*Курсивом отмечены значимые корреляции ($p < 0,05$).



а



б

Рис. 2. Количество зарегистрированных рыб в акватории русловой ямы в зоне вихрей (а) и вне ее (б):
1 – среднее число рыб в точке регистрации, экз.; 2 – глубины в акватории ямы, м;
3 – величина высоты водяного столба вертикального вихря, м

Таким образом, наибольшая зависимость распределения рыб в данном исследовании прослеживается в последнем случае, при этом следует отметить, что статистически значимая величина корреляции показателя водяного столба вихря от глубин составила 0,84 ($p < 0,05$).

Карповые. В результате анализа распределения процентных долей размерных групп в зоне вихревых структур установлено, что доминировали особи с размерами тела менее 15 см: менее 5, 5–10, 10–15 см, величины их долей 5,89, 53,79 и 13,54 % соответственно. Вне зоны вихрей доли рыб данных размерных групп составили 6,78, 52,17 и 10,36 %. Доли групп с размерами тела 15–20 см составили 2,32 и 3,17 % соответственно. Процентное соотношение более крупных особей карповых не превышало 1 % от общего числа рыб в зонах вихрей и вне их (рис. 3, а).

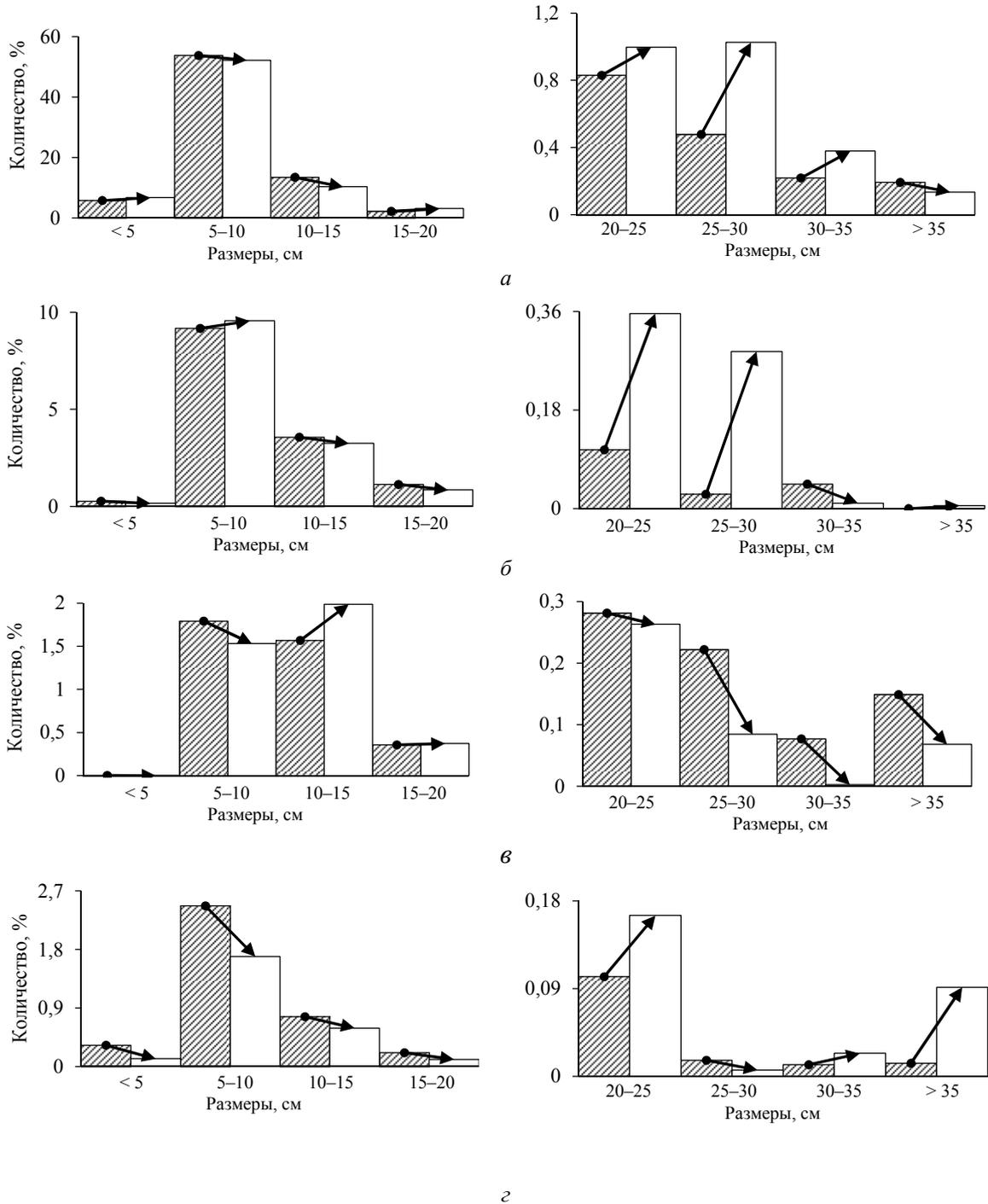


Рис. 3. Процентное соотношение размерных групп от общего числа рыб, зарегистрированных в зоне вихрей (заштриховано) и вне их (не заштриховано) в акватории русловой ямы:

а – карповые; б – окуневые; в – сиговые-щуквые; з – осетровые-налимовые (стрелкой показано направление тренда смещения распределения размерных групп)

Окуневые. Для представителей данного семейства общая закономерность распределения схожа с таковым у карповых. Основа данной группы представлена особями с размерами тела менее 15 см: менее 5, 5–10, 10–15 см. Величины их долей в зоне вихрей и вне ее составили 0,28 и 0,17; 9,18 и 9,57; 3,57 и 3,54 % соответственно. Величина доли размерной группы 15–20 см составила 1,14 и 0,85 %. Доли групп более крупных особей (более 20 см) не превышали 0,5 % (рис. 3, б).

Сиговые-щукковые. Основу данной группы рыб в зоне вихревых структур и вне их составили особи с размерами тела 5–10, 10–15 и 15–20 см. Их доли составили 1,79 и 1,53; 1,57 и 1,99; 0,36 и 0,37 % от общего числа рыб, зарегистрированных в соответствующих зонах. Для остальных размерных групп данный показатель не превышал 0,3 % (рис. 3, в).

Осетровые-налимовые. У группы рыб семейств налимовые и осетровые основная численность представлена размерными группами менее 20 см: менее 5, 5–10, 10–15, 15–20. Их доли в зоне вихрей и вне ее составляют 0,33 и 0,12; 2,47 и 1,69; 0,77 и 0,59; 0,22 и 0,11 соответственно. Особи рыб более крупных размеров представлены меньшим числом, а их доли от общего числа рыб как в зоне вихрей, так и вне их не превышали 0,2 % от общего числа рыб, зарегистрированных в соответствующих частях акватории ямы (рис. 3).

В результате выполненных исследований установлено, что в акватории русловой ямы рыба концентрируется в вихревых вертикальных структурах. Ее численность в водоворотах достоверно выше. Причем доля рыб мелких и средних размеров (менее 20 см) в зонах вихрей превышает доли рыб этих же групп вне вихревых структур. Для рыб большего размера (более 20 см) закономерность прямо противоположная – их процентные доли вне зон водоворотов в основном (карповые, окуневые, налимовые, осетровые) больше. Распределение рыб в турбулентных вихревых структурах может помогать им экономить энергию: использование зон потока с уменьшенными скоростями [5, 8] и энергии дискретных вихрей [5], поскольку при возрастании текущей скорости многие виды рыб, удерживающие свое положение возле дна, все равно сносятся потоком, изменяя свое поведение от стационарного плавания к свободному [9]. Однако турбулентные потоки также могут создавать определенные сложности в сохранении устойчивого положения рыб, в результате чего может быть отмечено и отрицательное воздействие: снижение критической скорости плавания и увеличение потребления кислорода [5, 10, 11]. Вертикальные вихревые структуры с круговыми течениями имеют больший компонент предсказуемости в отличие от сложной структуры турбулентного потока и его разнонаправленных струй, данная особенность, в свою очередь, может служить дополнительным фактором привлечения рыб [5] и формирования их скоплений в зоне водоворотов. При этом турбулентность усиливает способность рыбы ориентироваться на медленные токи [12]. С другой стороны, гидравлические условия турбулентных вихревых структур могут быть выгодны для отдельных групп рыб, рассматриваемых как «жертвы», например, показано [13–15], что у личинок и взрослых особей различных видов рыб турбулентность снижает способность захвата кормовых объектов.

Энергетические затраты рыб на плавание в зонах потока с высокой интенсивностью турбулентности могут быть выше, чем при плавании на участках акватории с меньшей интенсивностью, т. к. установлено [16–18], что в этих условиях рыба избегает высоких интенсивностей турбулентности, которая, вероятно, снижается в зонах вихревых структур водоворотной зоны речного потока. Избегание рыбами высокоинтенсивной турбулентности отмечают как при низких, так и при высоких уровнях скорости потока, но при промежуточных значениях данного показателя выбор смещается в сторону более интенсивной турбулентности [10]. Этот куполообразный эффект обнаружен и при выборе рыбами локаций в экспериментальном исследовании в турбулентном следе за вертикальными и горизонтальными цилиндрами [16, 19]. Следует отметить, что особи рыб в турбулентных течениях показывают кинематику плавания, отличную от свободного плавания в равномерных потоках [20], например, для окуня установлено [21], что его особи в турбулентных вихревых структурах потока используют грудные плавники для восстановления баланса, увеличивая расходы на энергию для контроля пространственного баланса, при этом уменьшается скорость их плавания.

Заключение

Таким образом, внутри турбулентного потока русловой ямы в зонах вертикальных вихревых структур формируются повышенные скопления рыб различных таксономических групп. Число рыб в зоне водоворотов превышает данный показатель вне вихревых структур в 1,4–2,8 раза.

В зоне вихрей доминируют мелкие особи и рыбы средних размеров (менее 20 см). Концентрация рыб внутри русловой ямы происходит, с одной стороны, в результате выбора ими необходимых условий местообитания, с другой – из-за временного затягивания и удержания рыб в зоне вихрей. Отмеченные особенности распределения рыб могут служить дополнительным элементом стратегии выживания молоди в системе «хищник – жертва».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Великанов М. А. Русловой процесс: основы теории. К.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1958. 395 с.
2. Барышников Н. Б. Динамика русловых потоков. СПб.: РГГМУ, 2007. 314 с.
3. Cotel A. J., Webb P. W. The Challenge of understanding and quantifying fish responses to turbulence-dominated physical environments // *Natural Locomotion in Fluids and on Surfaces*. New York: Springer, 2012. P. 15–33. DOI: org/10.1007/978-1-4614-3997-4_2.
4. Овсяник М. В. Образование водоворота, смерча // *Евразийский союз ученых (ЕСУ)*. Физ.-мат. науки. 2016. № 7 (28). С. 78–84.
5. Liao J. C., Cotel A. Effects of turbulence on fish swimming in aquaculture // *Planas Swimming physiology of fish*. Berlin: Springer, 2012. P. 109–127. DOI: org/10.1007/978-3-642-31049-2_5.
6. Юданов К. И., Калихман И. Л., Теслер В. Д. Руководство по проведению гидроакустических съемок. М.: ВНИРО, 1984. 1124 с.
7. Borisenko E. S., Mochek 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. DOI: 10.1134/S0032945206110130.
8. Wang H., Chanson H. On upstream fish passage in standard box culverts: interactions between fish and turbulence // *Journal of Ecohydraulics*. 2018. P. 1–12. DOI: 10.1080/24705357.2018.1440183.
9. Arnold G. P., Weihs D. The hydrodynamics of rheotaxis in the plaice (*Pleuronectes platessa*) // *Journal of experimental biology*. 1978. N. 1. P. 147–169.
10. Pavlov D. S., Lupandin A. I., Skorobogatov M. A. The effects of flow turbulence on the behavior and distribution of fish // *Journal of ichthyology*. 2000. N. 40 (2). P. 232–261.
11. Enders E. C., Boisclair D., Roy A. G. The effect of turbulence on the cost of swimming for juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) // *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*. 2003. N. 60. P. 1149–1160.
12. Elder J., Coombs S. The influence of turbulence on the sensory basis of rheotaxis // *Journal of comparative physiology A*. 2015. N. 201 (7). P. 667–680. DOI: org/10.1007/s00359-015-1014-7.
13. Oshima M., Kato Y., Masuda R., Kimura S., Yamashita Y. Effect of turbulence on feeding intensity and survival of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* pelagic larvae // *Journal of fish biology*. 2009. N. 75. P. 1639–1647. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2009.02390.x.
14. Vanderpham J. P., Nakagawa S., Closs G. P. Feeding ability of a fluvial habitat specialist and habitat generalist fish in turbulent and still conditions // *Ecology of freshwater fish*. 2013. N. 22. P. 596–606. DOI: 10.1111/eff.12064.
15. Urtizberea A., Fiksen Ø. Effects of prey size structure and turbulence on feeding and growth of anchovy larvae // *Environmental biology of fishes*. 2013. N. 96 (9). P. 1045–1063. DOI: org/10.1007/s10641-012-0102-6.
16. Webb P. W. Entrainment by river chub, *Nocomis micropogon*, and smallmouth bass, *Micropterus dolomieu*, on cylinders // *Journal of experimental biology*. 1998. N. 201. P. 2403–2412.
17. Webb P. W. Control of posture, depth, and swimming trajectories of fishes // *Integr. comp. biol.* 2002. N. 42. P. 94–101.
18. Webb P. W. Stability and maneuverability // *Fish physiology*. San Diego: Elsevier Press, 2006. P. 281–332.
19. Tritico H. M., Cotel A. J. The effects of turbulent eddies on the stability and critical swimming speed of Creek chub, *Semotilus atromaculatus* // *Journal of experimental biology*. 2010. N. 213. P. 2284–2293.
20. Liao J. C., Akanyeti O. Fish Swimming in a Kármán vortex street: kinematics, sensory biology and energetics // *Marine technology society journal*. 2017. N. 51 (5). P. 48–55. DOI: 10.4031/mts.51.5.8.
21. Lupandin A. I. Effect of flow turbulence on swimming speed of fish // *Biology Bulletin*. 2005. N. 32 (5). P. 461–466. DOI: 10.1007/s10525-005-0125-z.

Статья поступила в редакцию 02.11.2018.

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.



A. A. Chemagin

VORTEX STRUCTURES (EDDIES) IN THE RIVERBED DEPRESSION AND FISH DISTRIBUTION

Abstract. The article highlights the studies carried out in summer using the hydroacoustic method from the small boat with control fishing in the lower reaches of the Irtysh in the Gornoslinkinskaya riverbed depression. The method of research is based on using computerized hydroacoustic software and hardware complex "PanCor" (Promgidroakustika, LLC). Hydroacoustic records were processed in the laboratory. The features of fish distribution in a turbulent flow of the riverbed depression at the river bend have been recorded. Significant accumulations of fish in the areas of vertical vortex structures - eddies have been registered. Eddies are registered both visually and hydroacoustically. The recorded vortex structures are formed as a result of the hydrological features of the channel of the river studied section. There has been established a significant ($p < 0.05$) high direct correlation (> 0.70) between the number of fish species from all taxonomic groups (Cyprinidae, Percidae, Coregonidae, Esocidae, Lotidae, Acipenseridae) and the height of the water column in vortex structures. The number of fish in the vortex zones reliably exceeds that number outside these zones; for Cyprinidae by 2.61times, Percidae - 1.47, Coregonidae-Esocidae - 2.80, Acipenseridae-Lotidae - 2.50. It has been stated that in the zone of eddies the percentage of small individuals and medium size fish (< 20 cm) exceed the percentage outside the vortex structures. For larger fish groups (> 20 cm), on the contrary, the percentage is larger outside the vortex zones. The accumulation of fish in the whirlpool part of the riverbed depression occurs in the result of choosing the necessary habitat conditions that have a predictability component, as well as due to temporary drawing and holding the fish in the vortex zone.

Key words: fish aggregations, turbulence, vortex, eddy, fish distribution in a stream, meander, the Ob'-Irtysh basin.

REFERENCES

1. Velikanov M. A. *Ruslovoj process: osnovy teorii* [Riverbed process: theoretical backgrounds]. Kiev, Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury, 1958. 395 p.
2. Baryshnikov N. B. *Dinamika ruslovykh potokov* [Dynamics of river channel streams]. Saint-Petersburg, RGGMU, 2007. 314 p.
3. Cotel A. J., Webb P. W. The Challenge of understanding and quantifying fish responses to turbulence-dominated physical environments. *Natural Locomotion in Fluids and on Surfaces*. New York, Springer, 2012. Pp. 15-33. DOI: org/10.1007/978-1-4614-3997-4_2.
4. Ovsjanik M. V. Obrazovanie vodovorota, smercha [Developing a vortex or a waterspout]. *Evrazijskij sojuz uchenyh (ESU). Fiziko-matematicheskie nauki*, 2016, no. 7 (28), pp. 78-84.
5. Liao J. C., Cotel A. Effects of turbulence on fish swimming in aquaculture. *Planas Swimming physiology of fish*. Berlin, Springer, 2012. Pp. 109-127. DOI: org/10.1007/978-3-642-31049-2_5.
6. Judanov K. I., Kalihman I. L., Tesler V. D. *Rukovodstvo po provedeniju gidroakusticheskikh s'emok* [Instructions on conducting hydroacoustic surveys]. Moscow, VNIRO Publ., 1984. 1124 p.
7. Borisenko E. S., Mochek 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. DOI: 10.1134/S0032945206110130.
8. Wang H., Chanson H. On upstream fish passage in standard box culverts: interactions between fish and turbulence. *Journal of Ecohydraulics*, 2018, pp. 1-12. DOI: 10.1080/24705357.2018.1440183.
9. Arnold G. P., Weihs D. The hydrodynamics of rheotaxis in the plaice (*Pleuronectes platessa*). *Journal of experimental biology*, 1978, no. 1, pp. 147-169.
10. Pavlov D. S., Lupandin A. I., Skorobogatov M. A. The effects of flow turbulence on the behavior and distribution of fish. *Journal of ichthyology*, 2000, no. 40 (2), pp. 232-261.
11. Enders E. C., Boisclair D., Roy A. G. The effect of turbulence on the cost of swimming for juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 2003, no. 60, pp. 1149-1160.
12. Elder J., Coombs S. The influence of turbulence on the sensory basis of rheotaxis. *Journal of comparative physiology A*, 2015, no. 201 (7), pp. 667-680. DOI: org/10.1007/s00359-015-1014-7.
13. Oshima M., Kato Y., Masuda R., Kimura S., Yamashita Y. Effect of turbulence on feeding intensity and survival of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* pelagic larvae. *Journal of fish biology*, 2009, no. 75, pp. 1639-1647. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2009.02390.x.
14. Vanderpham J. P., Nakagawa S., Closs G. P. Feeding ability of a fluvial habitat specialist and habitat generalist fish in turbulent and still conditions. *Ecology of freshwater fish*, 2013, no. 22, pp. 596-606. DOI: 10.1111/eff.12064.

15. Urtizberea A., Fiksen Ø. Effects of prey size structure and turbulence on feeding and growth of anchovy larvae. *Environmental biology of fishes*, 2013, no. 96 (9), pp. 1045-1063. DOI: org/10.1007/s10641-012-0102-6.
16. Webb P. W. Entrainment by river chub, Nocomis micropogon, and smallmouth bass, *Micropterus dolomieu*, on cylinders. *Journal of experimental biology*, 1998, no. 201, pp. 2403-2412.
17. Webb P. W. Control of posture, depth, and swimming trajectories of fishes. *Integr. comp. biol.*, 2002, no. 42, pp. 94-101.
18. Webb P. W. Stability and maneuverability. *Fish physiology*. San Diego, Elsevier Press, 2006. Pp. 281-332.
19. Tritico H. M., Cotel A. J. The effects of turbulent eddies on the stability and critical swimming speed of Creek chub, *Semotilus atromaculatus*. *Journal of experimental biology*, 2010, no. 213, pp. 2284-2293.
20. Liao J. C., Akanyeti O. Fish Swimming in a Kármán vortex street: kinematics, sensory biology and energetics. *Marine technology society journal*, 2017, no. 51 (5), pp. 48-55. DOI: 10.4031/mts.j.51.5.8.
21. Lupandin A. I. Effect of flow turbulence on swimming speed of fish. *Biology Bulletin*, 2005, no. 32 (5), pp. 461-466. DOI: 10.1007/s10525-005-0125-z.

The article submitted to the editors 02.11.2018

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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

