

DOI: 10.24143/2073-5529-2019-4-55-69
УДК 597.2/.5; 574.5

СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ДОЛЯ ОСЕТРОВЫХ РЫБ В РУСЛОВОЙ ЯМЕ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД

А. С. Алдохин, А. А. Чемагин

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

Изучение распределения рыб в водной толще русловой ямы выполнено с помощью дистанционного эхометрического зондирования программно-техническим гидроакустическим комплексом с вертикальным обзором. Участок исследования расположен в нижнем течении р. Иртыш. Показано, что в рассматриваемый период (июль–октябрь) при снижении уровня и температуры воды происходит увеличение плотности рыб в акватории русловой ямы, что связано с формированием скоплений рыб во временной промежуток, предшествующий зимовке. Доля осетровых рыб варьировала от 5,46 до 10,28 % от общей плотности рыб, показатели которой находились в пределах 1,70–5,05 тыс. экз./га в светлое время суток, 2,78–6,77 тыс. экз./га – в темное. Установлено, что у осетровых рыб наблюдается суточная вертикальная миграция – в темное время более равномерное распределение по всей водной толще, в том числе в приповерхностных и придонных водных горизонтах. В темное время суток наиболее интенсивно осваиваются приповерхностные водные горизонты крупными рыбами (25–30, 30–35, > 35 см). Предполагается, что триггером суточной вертикальной миграции осетровых рыб является степень освещенности, несмотря на слабое зрение рассматриваемой группы, т. е. изменение вертикального положения осетровых рыб происходит на основе эндогенных циркадных ритмов, как у многих гидробионтов. Отмеченные особенности распределения осетровых рыб на основе предпочтения направленности и интенсивности различных факторов могут способствовать оптимизации биоэнергетических затрат в сложных турбулентных условиях русловых ям.

Ключевые слова: русловая яма, осетровые виды рыб, вертикальное распределение, плотность рыб, суточный аспект, размерные группы, горизонт водной толщи, глубина, поведение рыб.

Для цитирования: Алдохин А. С., Чемагин А. А. Суточная динамика вертикального распределения и доля осетровых рыб в русловой яме в летне-осенний период // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 4. С. 55–69. DOI: 10.24143/2073-5529-2019-4-55-69.

Введение

На состояние популяций рыб негативное влияние оказывает ряд антропогенных воздействий: браконьерский вылов, загрязнение вод и донных отложений, строительство плотин [1, 2], в результате чего изменяются гидрологический и гидрохимический режимы, утрачиваются нерестовые площади, в итоге может происходить снижение численности рыб, в том числе и осетровых видов [3]. Участок нижнего течения р. Иртыш играет важную роль в сохранении и формировании водных биологических ресурсов Обь-Иртышского бассейна. Здесь имеется развитый пойменно-русловой комплекс, где происходит нагул и нерест рыб, также на исследуемом участке реки расположены зимовальные русловые ямы, где круглогодично формируются скопления рыб с определенными размерно-таксономическими характеристиками. В акваториях русловых ям концентрируются в том числе и осетровые виды рыб: стерлядь и сибирский осетр, – последний вид включен в Красную книгу РФ. Первый вид, в свою очередь, при сравнении с енисейской популяцией, имеет большее генетическое разнообразие [2]. Кроме того, использование сетных орудий лова на различных глубинах для оценки численности рыб может как занижать, так и завышать показатели численности определенных размерных групп в водоемах, в связи с этим предлагается совместно с проведением контрольного лова рыбы осуществлять дистанционное эхометрическое зондирование водной толщи для получения более объективных оценок численности и плотности рыб при варьирующих экологических условиях [4, 5]: мутность, сезон года, время суток и т. д. Зимовальные русловые ямы на исследуемом участке реки различаются между собой по размерно-батиметрическим характеристикам, расположены преимущественно на меандрах с высоким радиусом кривизны. Наиболее крупные из них в настоящее

время – как по площади, так и по глубине – Горнослинкинская и Кондинская русловые зимовальные ямы (533–536 и 90–91 км от устья соответственно).

В связи с этим *целью нашей работы* стало определение гидроакустическим методом доли и особенностей распределения осетровых рыб в акватории Горнослинкинской русловой ямы в летний и осенний периоды, предшествующие формированию зимних скоплений рыб в яме.

Методика исследований

Гидроакустические исследования выполнены в акватории Горнослинкинской русловой ямы, съемки проводили ежемесячно в период с июля по октябрь 2018 г. с борта моторной лодки. По площади акватории передвигались зигзагами согласно общепринятой методике проведения гидроакустических съемок [6]. Дополнительно для оценки видового разнообразия рыбного населения выполняли контрольный лов рыбы плавными разноячейными сетями (диаметр ячеи 14, 25, 35, 45, 55, 65 мм, длина 75 м). Показатели уровня режима р. Иртыш по гидросту «Уват» приведены по данным интернет-портала [7], температуру воды определяли с помощью многопараметрической системы оценки качества воды NoGiBa (Япония). Для оценки плотности рыбного населения и доли размерных групп использовали программно-акустический компьютеризированный комплекс AsCor (ООО «Промгидроакустика», г. Петрозаводск) с вертикальным обзором и рабочими частотами 50 и 200 кГц. Для определения доли осетровых рыб использовали специальное программное приложение Тахопому, которое дистанционно идентифицирует зарегистрированных рыб в водной толще по форме плавательного пузыря на уровне семейства [8]. При обработке гидроакустических данных представители семейства Lotidae и Acipenseridae относятся в одну группу, но т. к. налим *Lota lota* Linnaeus, 1758, в контрольных уловах в рассматриваемый период достаточно редок, а его активность возрастает с похолоданием в осенне-зимний период [9], данную группу рыб мы рассматривали как осетровые: стерлядь и сибирский осетр. Для построения трехмерного рельефа русловой ямы использовали данные глубинных характеристик исследуемого участка водотока, полученные при проведении гидроакустических съемок; визуализация особенностей рельефа выполнена в геоинформационной системе для работы с поверхностью Земли Surfer 9 (Golden software, США) методом 3D – surface. Для удобства анализа распределения рыб на глубинах всю водную толщу условно делили на четыре 10-метровых водных горизонта: 0–10, 10–20, 20–30 и > 30 м.

Результаты исследований и их обсуждение

В период исследований максимальные глубины превышали 40 м (рис. 1).

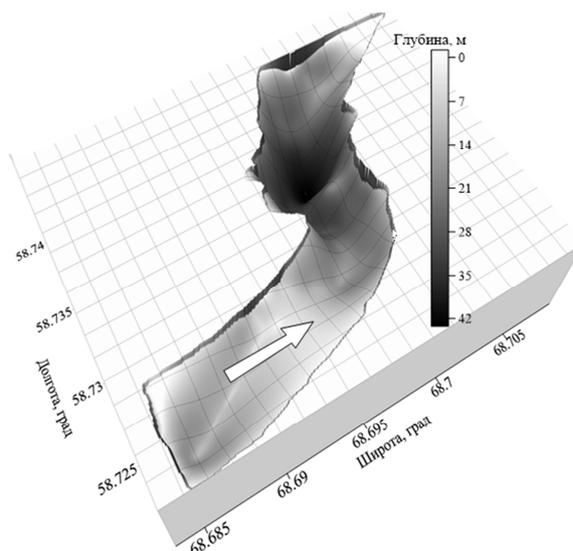
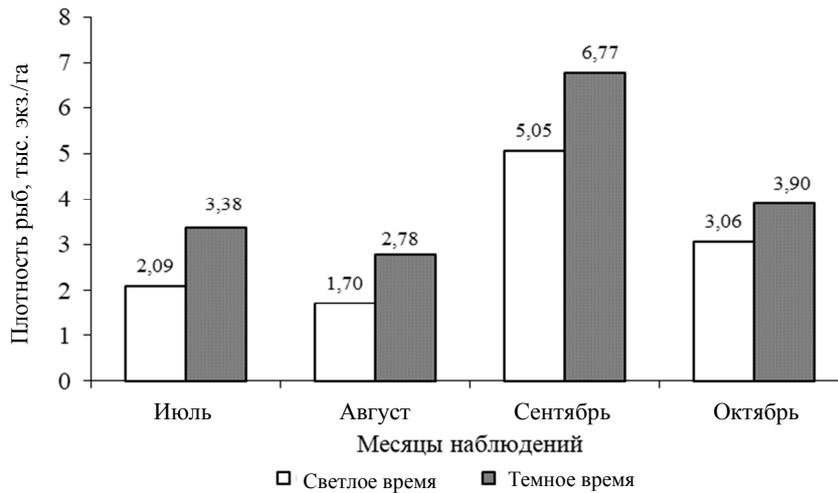
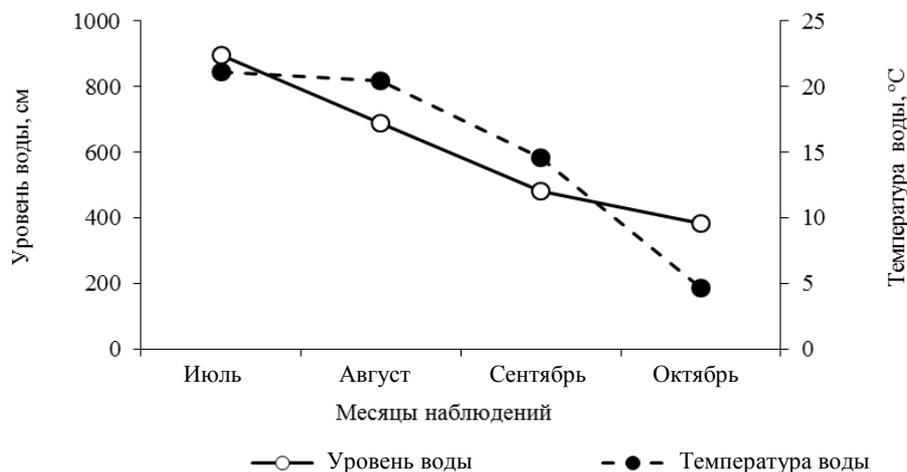


Рис. 1. Особенности рельефа Горнослинкинской русловой ямы на р. Иртыш (стрелкой показано направление течения)

В результате исследований установлено, что в светлое и темное время суток плотность рыб в акватории русловой ямы отличалась: в темное время возрастала, в светлое – снижалась. Кроме того, в период наблюдений (июль–октябрь) с понижением уровня воды с 894 до 383 см возрастает плотность рыб в акватории ямы: с 2,09 до 3,06 тыс. экз./га в светлое время и с 3,38 до 3,90 тыс. экз./га в темное, при этом наибольшие плотности рыб отмечены в сентябре днем – 5,05 и ночью – 6,77 тыс. экз./га (рис. 2, а), что, в свою очередь, может быть связано с миграцией рыб к зимовальным участкам при понижении температуры с 21,1 до 4,7 °С и уровня воды в р. Иртыш с 894 до 383 см (рис. 2, б), в том числе и выпускаемой молоди, выращенной в заводских условиях Абалакского экспериментального рыбозавода, расположенного выше по течению (697 км от устья).



а



б

Рис. 2. Плотность рыбного населения (а) и физические параметры среды (б) в акватории Горнослинкинской русловой ямы в период июль–октябрь 2018 г.

В исследуемый период в акватории русловой ямы отмечена динамика не только плотности рыб, но и доли группы осетровые-налимовые. С увеличением плотности рыбного населения в период июль–октябрь изменяется и доля исследуемой группы – от 5,46 до 5,98 %, при этом наибольший показатель отмечен в августе – 7,29 %. Однако следует отметить, что динамика

доли данной группы рыб в структуре рыбного населения отмечена и в суточном аспекте (светлое и темное время) по месяцам наблюдений: 5,46 и 6,88 в июле; 7,29 и 10,28 в августе; 6,43 и 7,64 в сентябре, 5,98 и 6,97 в октябре (рис. 3).

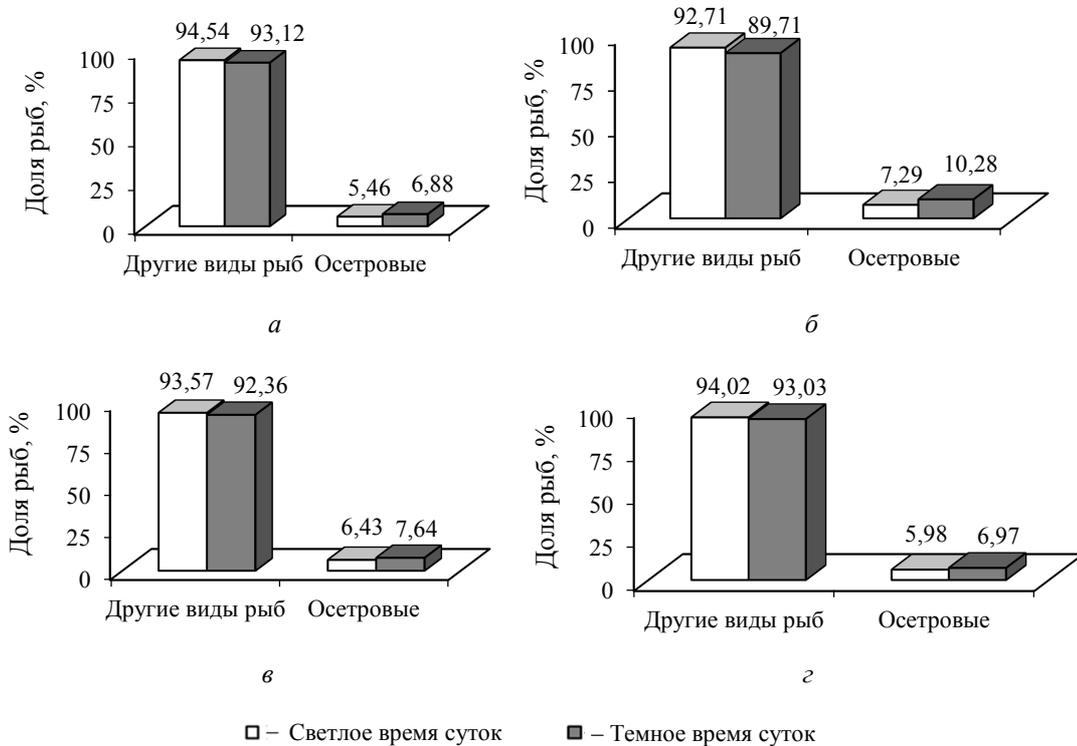


Рис. 3. Доля осетровых рыб в структуре рыбного населения акватории Горнослинkinской русловой ямы в различное по освещенности время суток: а – июль; б – август; в – сентябрь; г – октябрь

По результатам анализа вертикального распределения исследуемой группы рыб в водной толще русловой ямы установлено, что в светлое время суток особи данной группы распределены преимущественно в горизонтах водной толщи до 20 м, на глубинах > 30 м их распределение минимально; в темное время суток по всей водной толще русловой ямы особи данной группы рыб распределяются более равномерно, а на глубинах > 30 м их доля возрастает. Так, в июле доля данной группы рыб в горизонтах водной толщи < 10, 10–20, 20–30, > 30 м составила 1,56; 2,05; 1,27; 0,58 % в светлое время суток соответственно и 1,78; 2,12; 1,87; 1,11 % в темное время суток соответственно (рис. 4).

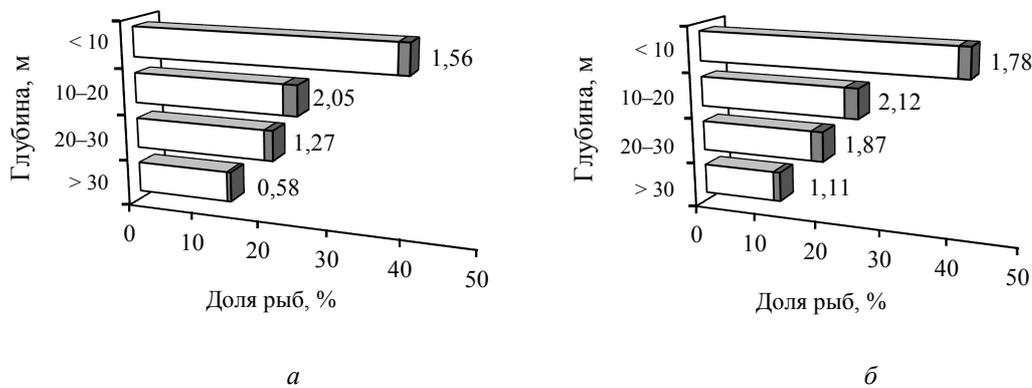


Рис. 4. Доля осетровых (в % от общего числа рыб) в соответствующих горизонтах водной толщи акватории Горнослинkinской русловой ямы, 2018 г., в светлое (а, в, д, ж) и темное (б, г, е, з) время суток: а, б – июль

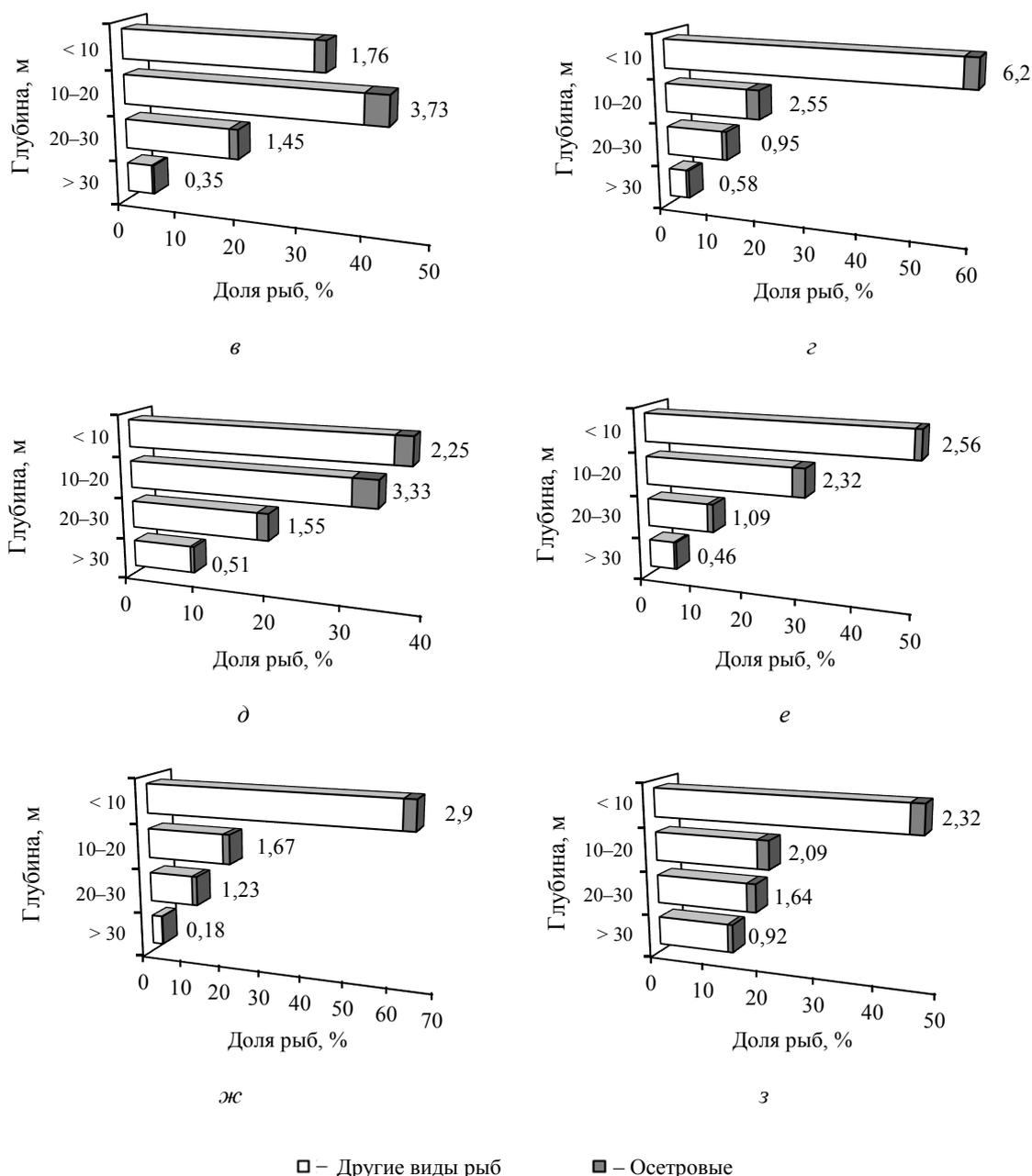


Рис. 4 (окончание). Доля осетровых (в % от общего числа рыб) в соответствующих горизонтах водной толщи акватории Горнослинкинской русловой ямы, 2018 г., в светлое (а, в, д, ж) и темное (б, г, е, з) время суток: в, г – август; д, е – сентябрь; ж, з – октябрь

В августе картина вертикального распределения как рыбного населения в целом, так и рассматриваемой группы несколько отличалась: в светлое время от поверхности к дну группа осетровых рыб распределена следующим образом: 1,76; 3,73; 1,45; 0,35 %, а в темное время суток – 6,2; 2,55; 0,95; 0,58 % в горизонтах водной толщи < 10, 10–20, 20–30, > 30 м соответственно. Особенности распределения в этом месяце, по всей видимости, связаны с массовыми выпусками молоди осетровых видов рыб Абалакским рыбопроизводным заводом и покатной миграцией рыб. Распределение рыб по горизонтам водной толщи в сентябре и октябре было схожим с таковым в июле: в светлое время суток – 2,25; 3,33; 1,55; 0,51 и 2,9; 1,67; 1,23; 0,18 % соответственно, в темное время – 2,56; 2,32; 1,09; 0,46 и 2,32; 2,09; 1,64; 0,92 % соответственно (рис. 4, а, б, д–з).

В результате выполненного анализа распределения размерных групп рыб также выявлен ряд закономерностей. При рассмотрении распределения рыб в июле в направлении от поверхности ко дну установлено, что в каждом из горизонтов водной толщи доминировали 3–4 размерные группы (< 5 см, 5–10 см, 10–15 см, 15–20 см): на глубинах < 10 м их доли составили 0,9; 13,52; 10,82; 1,8 %; 10–20 м – 2,7; 17,12; 9,91; 4,5 %; 20–30 м – 6,31; 12,61; 3,6; 0,9 %; > 30 м – 0,9; 8,11; 0,9 % (рис. 5).

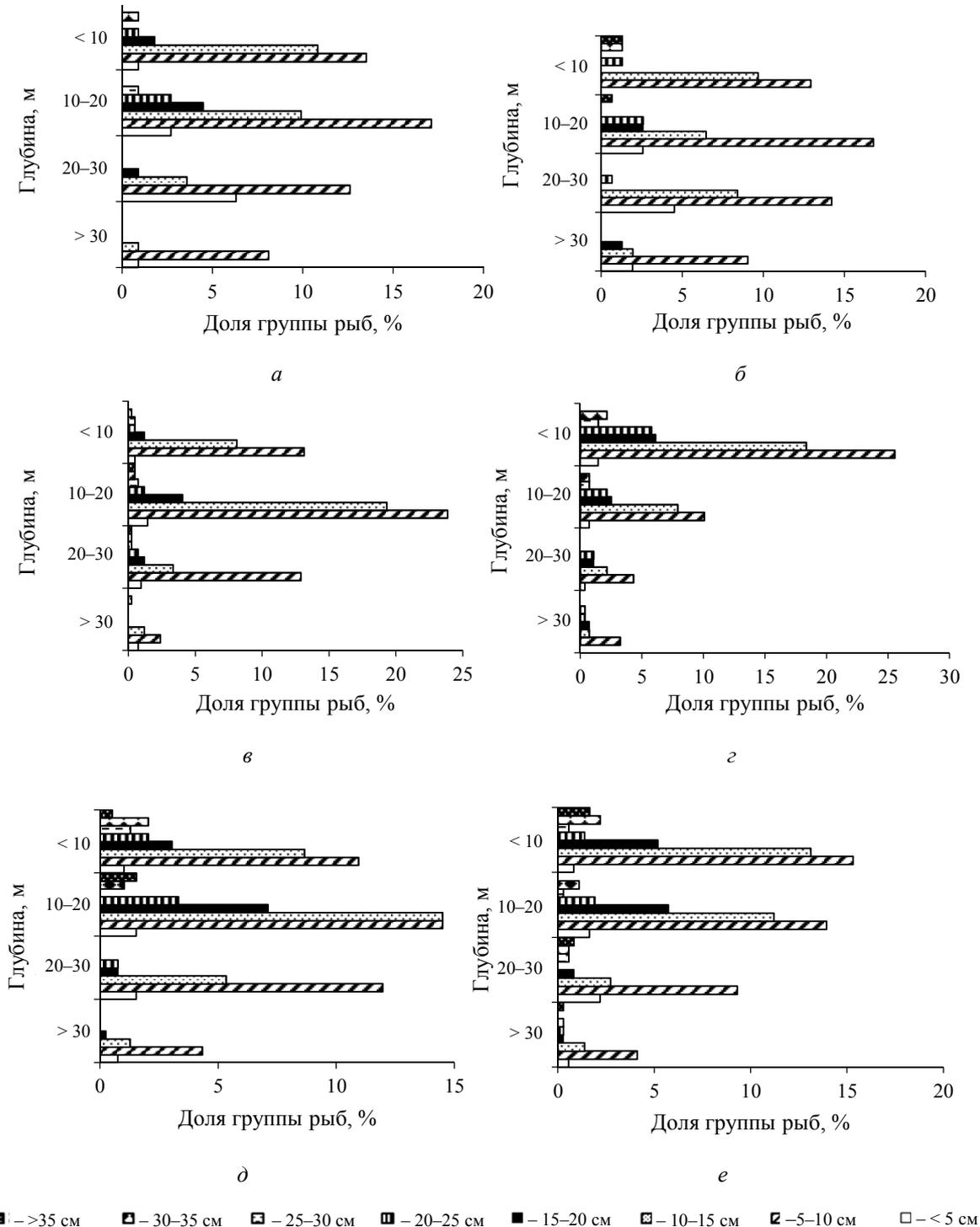


Рис. 5. Распределение размерных групп осетровых рыб (в % от их общей численности) в соответствующих горизонтах водной толщи в акватории Горнослинтинской русловой ямы в светлое (а, в, д, ж) и темное (б, г, е, з) время суток: а, б – июль; в, г – август; д, е – сентябрь

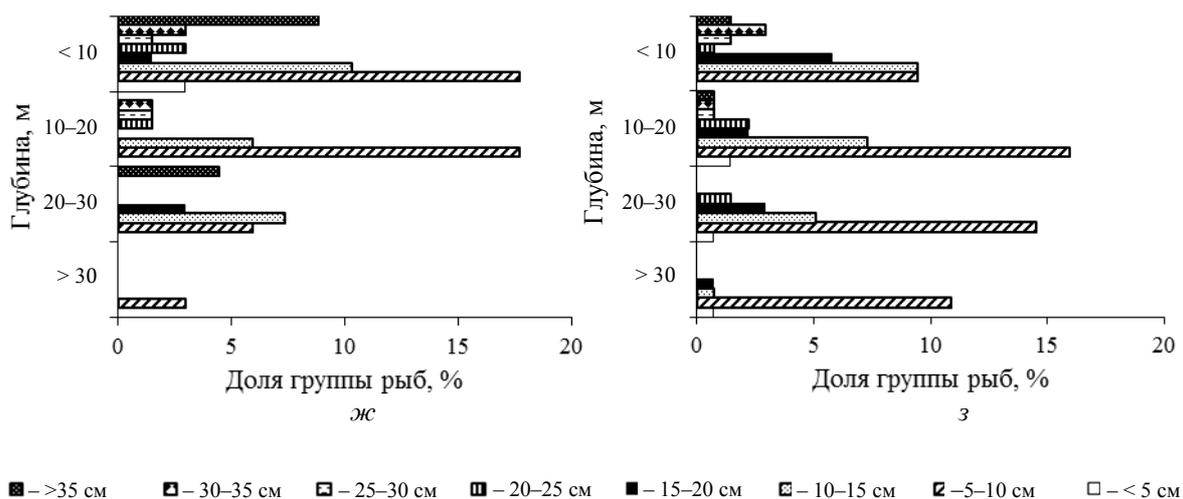


Рис. 5. (окончание). Распределение размерных групп осетровых рыб (в % от их общей численности) в соответствующих горизонтах водной толщи в акватории Горнослинкинской русловой ямы в светлое (а, в, д, ж) и темное (б, г, е, з) время суток: ж, з – октябрь

На глубинах > 30 м отмечены только размерные группы до 15 см, а на глубинах 20–30 м – до 20 см, особи более крупных размеров отмечены в горизонтах водной толщи от поверхности до 20 м, их доли незначительны. В темное время суток распределение рыб происходит следующим образом: на глубинах < 10 м полностью отсутствовали размерные группы < 5, 15–20, 25–30 см, при этом появились наиболее крупные особи > 35 см, которые не были отмечены в светлое время. Наиболее многочисленны группы в темное время суток в рассматриваемом горизонте – это особи с размерами тела 5–10 и 10–15 см, их доли составили 12,9 и 9,67 % соответственно. В горизонте водной толщи 10–20 м также наиболее многочисленны группы рыб с размерами тела 5–10 и 10–15 см, их доли составили 16,77 и 6,45 % соответственно, дополнительно здесь отмечена группа наиболее крупных рыб (> 35 см), которая не зафиксирована в светлое время суток, но ее доля при этом незначительна – 0,65 %. На глубинах 20–30 м, по сравнению со светлым временем суток, увеличивается доля групп рыб с размерами тела 10–15 см (до 8,39 %), при этом наиболее многочисленна также размерная группа рыб 5–10 см (14,19 %); доля размерной группы > 5 см составила 4,52 %, доля размерной группы рыб 20–25 см незначительна (0,65 %). Таким образом, в этом горизонте водной толщи отмечено только 4 размерные группы рыб.

В придонном горизонте водной толщи (> 30 м), в сравнении со светлым временем суток, дополнительно отмечена группа рыб с размерами тела 15–20 см, ее доля составила 1,29 %, здесь также многочисленна группа рыб с размерами тела 5–10 см – 9,03 %, доли рыб размерных групп < 5 и 10–15 см равны, их показатель составил 1,94 %.

В августе в светлое время суток особенности распределения рыб схожи с наблюдениями в июле, по всей водной толще наиболее многочисленны особи из размерных групп 5–10, 10–15 см, их доли по горизонтам < 10, 10–20, 20–30, > 30 м составили 13,13 и 8,11; 23,86 и 19,33; 12,89 и 3,34; 2,39 и 1,19 %. В придонном горизонте представлены только 3 размерные группы: 5–10, 10–15 и 15–20 см; на уровне 10–20 и 20–30 м представлены все размерные группы, в том числе и наиболее крупные особи, но при этом доля данных групп рыб не столь значительна и варьировала в пределах 0,24–4,05 %. В приповерхностном горизонте также представлено большинство размерных групп, за исключением наиболее крупных. В темное время суток в исследуемый период по всей водной толще русловой ямы не были отмечены наиболее крупные особи (> 35 см). По всем горизонтам водной толщи наиболее многочисленны также 2 размерные группы: 5–10 и 10–15 см, их доли от поверхности ко дну составили 25,54 и 18,35; 10,07 и 7,91; 4,32 и 1,07; 3,24 и 0,72 %. Доля групп более крупных рыб с размерами тела 15–20, 20–25, 25–30, 30–35 см также снижалась от поверхности ко дну, наибольшую численность они формировали в горизонтах водной толщи < 10, 10–20 м. При этом следует отметить, что на глубинах 20–30 м группа исследуемых рыб представлена особями с размерами тела от < 5 до 20–25 см, в придонных горизонтах (> 30 м) – с размерами от < 5 до 25–30 см.

В сентябре, с понижением уровня и температуры воды, изменился размерный состав исследуемой группы рыб и особенности их вертикального распределения. В водной толще на уровне < 10 м представлены все размерные группы: < 5, 5–10, 10–15, 15–20, 20–25, 25–30, 30–35 и > 35 см, их доли составили 1,02; 10,94; 8,65; 3,05; 2,04; 1,28; 2,04 и 0,51 % соответственно. В водной толще на глубинах 10–20 м отмечены все размерные группы рыб, за исключением группы особей с длиной тела 25–30 см; наиболее многочисленны группы рыб с размерами 5–10, 10–15 и 15–20 см, их доли составили 14,5; 14,5 и 7,12 % соответственно, доли более крупных и наиболее мелких рыб менее значительны.

В горизонте водной толщи 20–30 м наиболее многочисленны 2 группы: 5–10 и 10–15 см, их доли составили 11,96 и 5,34 % соответственно, также в меньшей степени здесь отмечены представители размерных групп < 5, 15–20, 20–25 см. В наиболее глубоком горизонте водной толщи отмечены представители 4-х размерных групп: < 5, 5–10, 10–15, 15–20 см, при этом наиболее многочисленны представители размерной группы 5–10 см, величина их доли составила 4,33 %, у остальных групп этот показатель варьировал в пределах 0,25–1,27 %. В темное время суток вертикальное распределение размерных групп рыб изменилось: на горизонтах глубин 20–30 и > 30 м отмечены более крупные особи рыб (20–25, 25–30, 30–35, > 35 см), которые в светлое время не зарегистрированы, при этом следует отметить, что в первом диапазоне глубин не отмечена размерная группа 20–25 см, а во втором – 30–35 см. Наибольшая доля отмечена у групп < 5, 5–10, 10–15 см, в первом диапазоне глубин их доли составили 0,55; 4,1; 1,37, во втором – 2,19; 9,29; 2,73 %. В горизонтах водной толщи < 10 и 10–20 м наиболее многочисленны размерные группы 5–10 и 10–15, 15–20 см, их доли составили 15,3; 13,11; 5,19 и 13,93; 11,2; 5,74 % соответственно.

В октябре в светлое время суток распределение исследуемой группы рыб отличалось от предшествующего месяца, возросла доля более крупных рыб. Так, в водном горизонте < 10 м наряду с размерными группами 5–10, 10–15 см доминировала группа наиболее крупных особей с размерами тела > 35 см, их доли составили 17,65; 10,3 и 8,83 % соответственно. Величина доли у каждой из размерных групп < 5 см, 20–25, 30–35 см составила 2,94 %, а у групп 15–20 и 25–30 см – менее 1,5 %. В следующем водном горизонте на глубинах 10–20 м наиболее многочисленны размерные группы 5–10 и 10–15 см, их доли составили 17,65 и 5,88 % соответственно, полностью отсутствовали особи с размерами тела < 5 см, 15–20 и > 35 см, величина доли каждой из остальных размерных групп также не превышала 1,5 %. На глубинах 20–30 м исследуемая группа рыб представлена четырьмя размерными группами: 5–10, 10–15, 15–20 и > 35 см, их доли составили 5,88; 7,35; 2,94 и 4,41 % соответственно. В придонном горизонте водной толщи (> 30 м) рассматриваемая группа рыб представлена только молодью с размерами тела 5–10 см, их доля составила менее 3 %. В темное время особенности распределения рыб отличались от дневного: в приповерхностном горизонте водной толщи (< 10 м) отмечены все размерные группы рыб, за исключением особей с размерами тела < 5 см; доли размерных групп 5–10, 10–15, 15–20, 20–25, 25–30, 30–35 и > 35 см составили 9,42; 9,42; 5,8; 0,72; 1,45; 2,9 и 1,45 % соответственно. На глубинах 10–20 м отмечены все размерные группы, от < 5 до > 35 см, доминировали особи с размерами тела 5–10 и 10–15 см, их доли составили 15,95 и 7,25 %, доли остальных размерных групп варьировали в небольшом диапазоне: 0,72–2,18 %. На глубинах 20–30 м наиболее многочисленны группы рыб с размерами тела 5–10, 10–15 и 15–20 см, их доли составили 14,5; 5,07 и 2,9 % соответственно, кроме того, здесь отмечены размерные группы рыб < 5 и 20–25 см, их доли невелики – 0,72 и 1,54 %. На максимальных глубинах (> 30 м) доминировала размерная группа рыб 5–10 см, ее доля составила 10,87 %, также здесь отмечены особи рыб с размерами тела < 5, 10–15 и 15–20, доля каждой из этих групп составила менее 1 %.

Концентрация осетровых рыб в условиях пониженной прозрачности является энергетически выгодной стратегией защиты от хищников, поскольку показано [10], что в условиях прозрачных вод в качестве элемента стратегии снижения риска хищничества особям осетровых рыб приходилось совершать преимущественно перемещения на значительные расстояния для поиска укрытия. Таким образом, структурная неоднородность водной толщи русловой ямы (из-за сложного турбулентного потока) и повышенная мутность являются свойствами среды, снижающими риск хищничества.

Высокая суточная динамика вертикального перераспределения более крупных рыб отражает описанную ранее [11] более высокую реакцию побега у осетровых рыб, при этом самая

маленькая и самая крупная рыба демонстрирует наибольшее по времени нахождение в рельефных неоднородностях дна в качестве укрытия для защиты от риска хищничества, рыбы средних размеров в период нагула при угрозах хищничества, напротив, не проявляли реакции побега. Описанную В. Вайшингардом с соавторами [11] закономерность рассматривают как интеграцию поведения со сложными морфологическими вариациями для получения уникальных результатов для защиты от хищников. В свою очередь, осетровые рыбы, в том числе и молодь [12], имеют гладкую брюшную сторону, что позволяет им противостоять высоким скоростям течения и отдыхать, временно прижимаясь ко дну водотока [13], в этот период их регистрация гидроакустическим методом становится затруднительной. При этом величина шероховатости субстрата играет роль в удержании стаи на дне [12], т. к. возникают дополнительные затраты на стабильность при контакте с шероховатым субстратом на определенных скоростях, однако на рассматриваемом нами участке донные отложения песчаные, песчано-илистые, глинисто-песчаные [14], что подразумевает более гладкое дно, в отличие от гравийных участков. Отмечается [15], что особи сибирского осетра обладают широким диапазоном нормы реакции, а также [16] высокой способностью восстанавливаться после усталости от превышения критических скоростей плавания, в дополнение к этому показано [17, 18], что данный вид обладает относительно высокими плавательными характеристиками, относительно низким коэффициентом сопротивления, обусловленным уникальной формой тела, а также высокой способностью переносить нехватку растворенного в воде кислорода. Дополнительно показано [19], что ювенальные особи осетровых рыб не обладают способностью плавать на высоких скоростях (т. е. в фазе «взрыва») в течение длительных периодов времени, при этом критическая скорость плавания возрастает в процессе онтогенеза особей рыб [20, 21].

На эффективность плавания рыб также оказывает влияние не только волнение в акватории водоема или водотока, но и другие сложные схемы течения [22; 23], которые возникают на участках русловых ям [24].

В нашем исследовании показано, что наибольшее освоение водной толщи русловой ямы и наличие особей большего количества размерных групп, а также увеличение плотности рыб отмечается в темное время суток, схожие результаты отмечены и другими авторами [25], которые в своих исследованиях суточной активности озера осетра (*Acipenser fulvescens* Rafinesque, 1817) с помощью спутниковых меток отмечают, что его наибольшая активность регистрируется в ночное время, а в результате построения обобщенных линейных моделей смешанного эффекта показали, что температура и время суток являются значимыми предикторами активности. Схожие данные получены и для белого осетра (*Acipenser transmontanus*, Richardson, 1836) [26]: ночью его особи перемещаются на мелководье и проявляют большую активность, чем днем. Преимущественная миграция молоди рыб в темное время суток, на примере осетровых рыб, является элементом снижения риска хищничества [27]. Кроме того, увеличение плотности рыб в темное время суток, по сравнению с дневным периодом, может являться результатом универсального механизма активации покатной миграции рыб в сумеречно-ночной период, что способствует увеличению их численности в рассматриваемой нами акватории при снижении освещенности [28]. Согласно данным [29], стерлядь покидает места нагула и мигрирует к местам зимовки с конца августа до середины октября, что соответствует перемещению животных между четко определенными средами обитания в соответствии с предсказуемым графиком [27], при этом миграция прекращается, когда температура воды опускается ниже 10 °С [29, 30], что дополняет и частично объясняет картину увеличения плотности рыб в акватории русловой ямы в сентябре-октябре.

Наиболее вероятным триггером суточной вертикальной миграции (СВМ) пресноводных рыб является изменение интенсивности света [31]: снижение освещенности в сумерках вызывает подъем, а увеличение на рассвете – спуск, причем данное явление изучено у холодолюбивых видов рыб – сиговых и лососевых – в глубоководных озерах [31]. Суточная динамика вертикального распределения рыб в озерах наблюдается, поскольку в них отмечают термическую стратификацию, вертикальный градиент по показателю мутности, концентрации кислорода, которые, в свою очередь, влияют на распределение кормовых объектов – зоопланктона [32, 33], при этом следует отметить, что представители зоопланктона также проявляют СВМ: даже в лабораторных условиях у копепоид, собранных из активно мигрирующей естественной популяции,

наблюдают [34] эндогенные циркадные ритмы плавания и дыхания в условиях полной темноты, что обусловлено [34] адаптивным свойством организма для поддержания миграционной ритмичности в местах обитания, где ограничен один из основных экзогенных триггеров СВМ – свет. Также данным свойством, вероятно, можно объяснить и наличие динамики суточного вертикального распределения рыб в условиях развитого ледового покрытия водотока [35].

На примере морских мезопелагических рыб также показана амплитуда СВМ [36]: в темное время перемещение к прибрежью (≤ 150 м) для активного питания, в светлое – к дну (> 300 м) для избегания визуально ориентированных хищников. Вертикальное миграционное поведение морских рыб синхронно с их циркадными ритмами, стимулами суточной активности являются свет, приливо-отливные явления; в результате такой модели поведения особи рыб максимизируют потребление пищи, возрастает выживаемость и скорость роста [37].

В речной системе вертикальный градиент из абиотических факторов показан [38, 39] для скоростей течения: максимальные у поверхности, минимальные – у дна. В свою очередь, Т. Менер [31] считает, что конечными причинами СВМ является снижение биоэнергетических трат, возможность кормления и предотвращение риска хищничества, при этом [31] ни один из этих факторов не дает возможности полностью объяснить СВМ во всех случаях. Этот же исследователь [31] показывает, что многофакторные гипотезы, такие как «окно антихищничества», в сочетании с гипотезой избирания «термической ниши» с большей вероятностью объясняют СВМ в озерах, однако в условиях различных озер сила каждого из факторов отличается, при этом установлено [31], что амплитуды СВМ варьируются в зависимости от сезона, года и водоема. Различие экологических и физиологических признаков особей в пределах одной популяции создает предпосылки к тому, что траектории и амплитуды миграций могут быть пластичными и изменчивыми внутри популяции [31], данное предположение подтверждается [40] экогенетическим моделированием на представителях окуневых рыб: пространственные правила движения особей в экосистеме даже в течение дня формируются на основе взвешенных предпочтений различных факторов: освещенности, растворенного кислорода, температуры, хищников и добычи. В итоге особенности поведения рыб, в том числе и осетровых, проявляются в виде различной интенсивности освоения водных акваторий как в горизонтальном, так и вертикальном аспекте в зависимости от силы, направленности различных факторов и их взаимодействия. Данные особенности необходимо учитывать при проведении контрольных ловов рыбы с целью оценки ее численности.

Заключение

Таким образом, показано, что в условиях сложных турбулентных течений водотока на участке русловой ямы наблюдается концентрация осетровых видов рыб, в том числе и в летний период. С понижением уровня воды происходит увеличение плотности и численности рыб, что, в свою очередь, связано с покатной миграцией, предшествующей зимовке. В суточном аспекте освоение водной толщи и акватории русловой ямы возрастает: увеличивается плотность рыб, происходит перераспределение рыб по всей водной толще, включая приповерхностные и придонные глубины. В темное время возрастает освоение горизонтов водной толщи, особенно приповерхностных, крупными рыбами – 25–30, 30–35, > 35 см. В результате динамики перераспределения рыб в условиях глубокого участка водотока наблюдается суточная вертикальная миграция осетровых рыб, триггером которой, по всей видимости, является степень освещенности, несмотря на слабое зрение рассматриваемой группы, что, в свою очередь, происходит на основе эндогенных циркадных ритмов организма гидробионтов, с целью оптимизации биоэнергетических трат на удержание стаии, кормления и защиты от хищников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang Y., Xia Z., Wang D. A transitional region concept for assessing the effects of reservoirs on river habitats: a case of Yangtze River, China // *Ecohydrology*. 2012. N. 5 (1). P. 28–35. DOI: 10.1002/eco.186.
2. Pobedintseva M. A., Makunin A. I., Kichigin I. G., Kulemzina A. I., Serdyukova N. A., Romanenko S. A., Vorobieva N. V., Interesova E. A., Korentovich M. A., Zaytsev V. F., Mischenko A. V., Zadelenov V. A., Yurchenko A. A., Sherbakov D. Y., Graphodatsky A. S., Trifonov V. A. Population genetic structure and phylogeography

- of sterlet (*Acipenser ruthenus*, Acipenseridae) in the Ob and Yenisei river basins // Mitochondrial DNA Part A. 2018. N. 30 (1). P. 156–164. DOI: 10.1080/24701394.2018.1467409.
3. *Katopodis C., Cai L., Johnson D.* Sturgeon survival: The role of swimming performance and fish passage research // Fisheries Research. 2019. N. 212. P. 162–171. DOI: org/10.1016/j.fishres.2018.12.027.
 4. *Gorman A. M., Kraus R. T., Gutowsky L. F. G., Vandergoot C. S., Zhao Y., Knight C. T., Faust M. D., Hayden T. A., Krueger C. C.* Vertical habitat use by adult walleyes conflicts with expectations from fishery-independent surveys // Transactions of the American Fisheries Society. 2019. N. 148 (3). P. 592–604. DOI: 10.1002/tafs.10150.
 5. *DuFour M. R., Mayer C. M., Qian S. S., Vandergoot C. S., Kraus R. T., Kocovsky P. M., Warner D. M.* Inferred fish behavior its implications for hydroacoustic surveys in nearshore habitats // Fisheries Research. 2018. N. 199. P. 63–75. DOI: 10.1016/j.fishres.2017.11.018.
 6. *Юданов К. И., Калихман И. Л., Теслер В. Д.* Руководство по проведению гидроакустических съемок. М.: Изд-во ВНИРО, 1984. 1124 с.
 7. *Справочная информация об уровне рек для туристов-водников, каякеров, рыбаков.* URL: <https://allrivers.info> (дата обращения: 25.10.2018).
 8. *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.
 9. *Решетников Ю. С.* Атлас пресноводных рыб России. М.: Наука, 2003. Т. 2. 253 с.
 10. *Wishingrad V., Chivers D. P., Ferrari M. C.* Relative cost/benefit trade-off between cover-seeking and escape behaviour in an ancestral fish: The Importance of Structural Habitat Heterogeneity // Ethology. 2014. N. 120. P. 973–981. DOI: 10.1111/eth.12269.
 11. *Wishingrad V., Ferrari M. C. O., Chivers D. P.* Behavioural and morphological defences in a fish with a complex antipredator phenotype // Animal Behaviour. 2014. N. 95. P. 137–143. DOI: 10.1016/j.anbehav.2014.07.006.
 12. *May L. E., Kieffer J. D.* The effect of substratum type on aspects of swimming performance and behaviour in shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum* // Journal of Fish Biology. 2017. N. 90. P. 185–200. DOI: 10.1111/jfb.13159.
 13. *Kieffer J. D., Arsenaault L. M., Litvak M. K.* Behavior and performance of juvenile shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum* at different water velocities // Journal of Fish Biology. 2009. N. 74. P. 674–682. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2008.02139.x.
 14. *Чемагин А. А.* Современное экологическое состояние реки Иртыш в нижнем течении: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2015. 16 с.
 15. *Ruban G. I.* Adaptive ecological and morphological features of the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt) // Inland Water Biology. 2019. N. 12 (2). P. 210–216. DOI: 10.1134/s1995082919020135.
 16. *Yuan X., Cai L., Johnson D., Tu Z., Huang Y.* Oxygen consumption and swimming behavior of juvenile Siberian sturgeon *Acipenser baerii* during stepped velocity tests // Aquatic Biology. 2016. N. 24 (3). P. 211–217. DOI: 10.3354/ab00649.
 17. *Cai L., Johnson D., Mandal P., Gan M., Yuan X., Tu Z., Huang Y.* Effect of exhaustive exercise on the swimming capability and metabolism of juvenile Siberian sturgeon // Transactions of the American Fisheries Society. 2015. N. 144. P. 532–538. DOI: 10.1080/00028487.2015.1007163.
 18. *Duan M., Qu Y., Zhuang P.* Swimming characteristics of the siberian sturgeon // The Siberian sturgeon (*Acipenser Baerii*, Brandt, 1869). Cham: Springer, 2017. V. 1 – Biology. P. 229–246. DOI: 10.1007/978-3-319-61664-3_12.
 19. *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. N. 79. P. 1146–1155. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2011.03094.x.
 20. *He X., Lu S., Liao M., Zhu X., Zhang M., Li S., You X., Chen J.* Effects of age and size on critical swimming speed of juvenile Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* at seasonal temperatures // Journal of Fish Biology. 2013. N. 82. P. 1047–1056. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2012.12015.x.
 21. *Shivaramu S., Santo C. E., Kašpar V., Bierbach D., Gessner J., Rodina M., Gela D., Flajšhans M., Wuertz S.* Critical swimming speed of sterlet (*Acipenser ruthenus*): Does intraspecific hybridization affect swimming performance? // Journal of Applied Ichthyology. 2019. N. 35. P. 217–225. DOI: org/10.1111/jai.13834.
 22. *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. DOI: 10.1242/jeb.041806.
 23. *Silva A. T., Katopodis C., Santos J. M., Ferreira M. T., Pinheiro A. N.* Cyprinid swimming behavior in response to turbulent flow // Ecological Engineering. 2012. N. 44. P. 314–328. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2012.04.015.
 24. *Chemagin A. A.* The effect of vortex structures in the river bed on concentration and size differentiation of the fish population // Biosystems Diversity. 2018. N. 26 (2). P. 139–144. DOI: 10.15421/011822.
 25. *Kough A. S., Jacobs G. R., Gorsky D., Willink P. W.* Diel timing of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) activity revealed by satellite tags in the Laurentian Great Lake Basin // Journal of Great Lakes Research. 2018. N. 44 (1). P. 157–165. DOI: org/10.1016/j.jglr.2017.10.008.

26. Parsley M. J., Popoff N. D., Wright C. D., Van der Leeuw B. K. Seasonal and Diel Movements of White Sturgeon in the Lower Columbia River // Transactions of the American Fisheries Society. 2008. N. 137 (4). P. 1007–1017. DOI: 10.1577/t07-027.1.
27. Kapusta A., Morzuch J., Duda A., Bogacka-Kapusta E., Kolman R. Dispersal and survival of stocked juvenile hatchery-reared Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus*) // Archives of Polish Fisheries. 2016. N. 24 (4). P. 243–249. DOI: 10.1515/aopf-2016-0021.
28. Pavlov D. S., Mikheev V. N. Downstream migration and mechanisms of dispersal of young fish in rivers // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2017. N. 74 (8). P. 1312–1323. DOI: 10.1139/cjfas-2016-0298.
29. Kubala M., Farský M., Pekárik L. Migration patterns of sterlet (*Acipenser ruthenus*, Linnaeus 1758) in the Middle Danube assessed by 1 year acoustic telemetry study // Journal of Applied Ichthyology. 2019. N. 35. P. 54–60. DOI: org/10.1111/jai.13859.
30. Kalmykov V. A., Ruban G. I., Pavlov D. S. Migrations and resources of sterlet *Acipenser ruthenus* (Acipenseridae) from the lower reaches of the Volga River // Journal of Ichthyology. 2010. N. 50. P. 44–51. DOI: org/10.1134/S0032945210010066.
31. Mehner T. Diel vertical migration of freshwater fishes - proximate triggers, ultimate causes and research perspectives // Freshwater Biology. 2012. N. 57 (7). P. 1342–1359. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2012.02811.x.
32. Nowicki C. J., Bunnell D. B., Armenio P. M., Warner D. M., Vanderploeg H. A., Cavalletto J. F., Mayer C. M., Adams J. V. Biotic and abiotic factors influencing zooplankton vertical distribution in Lake Huron // Journal of Great Lakes Research. 2017. N. 43 (6). P. 1044–1054. DOI: 10.1016/j.jglr.2017.08.004.
33. Watkins J. M., Collingsworth P. D., Saavedra N. E., O'Malley B. P., Rudstam L. G. Fine-scale zooplankton diel vertical migration revealed by traditional net sampling and a Laser Optical Plankton Counter (LOPC) in Lake Ontario // Journal of Great Lakes Research. 2017. N. 43 (5). P. 804–812. DOI: 10.1016/j.jglr.2017.03.006.
34. Häfker N. S., Meyer B., Last K. S., Pond D. W., Hüppe L., & Teschke M. Circadian clock involvement in zooplankton diel vertical migration // Current Biology. 2017. N. 27 (14). P. 2194–2201.e3. DOI: 10.1016/j.cub.2017.06.025.
35. Чемагин А. А. Распределение рыб в зимовальной яме в условиях ледового покрытия // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. 2018. Т. 20. № 5-3. С. 479–489.
36. Wang X., Zhang J., Zhao X., Chen Z., Ying Y., Li Z., Xu D., Liu Z., Zhou M. Vertical distribution and diel migration of mesopelagic fishes on the northern slope of the South China sea // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2019. N. 167. P. 128–141. DOI: 10.1016/j.dsr2.2019.05.009.
37. Neilson J. D., Ian Perry R., Crawford L. M. Fish migration, vertical // Encyclopedia of Ocean Sciences. London: Elsevier, 2019. P. 217–223. DOI: 10.1016/b978-0-12-409548-9.10778-x.
38. Караушев А. В. Речная гидравлика. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 418 с.
39. Барышников Н. Б. Руслые процессы: учеб. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. 439 с.
40. Hryciuk A. R., Collingsworth P. D., Sesterhenn T. M., Goto D., Höök T. O. Movement rule selection through eco-genetic modeling: Application to diurnal vertical movement // Journal of Theoretical Biology. 2019. N. 478. P. 128–138. DOI: 10.1016/j.jtbi.2019.06.019.

Статья поступила в редакцию 28.10.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алдохин Андрей Степанович — Россия, 626152, Тобольск; Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения Российской академии наук; старший лаборант группы экологии гидробионтов; vodnie.ekosystemi.lab@yandex.ru.

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.



DAILY DYNAMICS OF VERTICAL DISTRIBUTION AND AMOUNT OF STURGEONS IN RIVERBED DEPRESSION IN SUMMER-AUTUMN PERIOD

A. S. Aldokhin, A. A. Chemagin

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

Abstract. The article presents the results of studying the fish distribution in the water column of the riverbed depression using remote echometric sounding with a software-hardware acoustic system with a vertical view. The study was conducted in the lower reaches of the Irtysh River. In the appointed period (July-October) under a decrease in the level regime and water temperature the increasing density of fish in the water area of the riverbed depression is explained by fish gathering in the period preceding wintering. The share of sturgeons varied from 5.46 to 10.28% of the total fish density, the indicators of which were in the range 1.70-5.05 thousand sp/ha in the daytime, 2.78-6.77 thousand sp/ha in the night. There has been stated the daily vertical migration of sturgeons, which is more uniform throughout the water column in the night, including the near-surface and near-bottom water horizons. In the dark near-surface water horizons are most intensively explored by large fish (25-30, 30-35, > 35 cm). The trigger of the daily vertical migration of sturgeons is supposed to be the light brightness, despite the poor eyesight of the fish under study, i.e. changing vertical position of sturgeons occurs due to endogenous circadian rhythms, as in many hydrobionts. The recorded features of sturgeon distribution because of preference of the direction and intensity of various factors can contribute to the optimization of bioenergy losses in hard turbulent conditions of riverbed depressions.

Key words: riverbed depression, sturgeon species, vertical distribution, fish density, diurnal aspect, size groups, water column, depth, fish behavior.

For citation: Aldokhin A. S., Chemagin A. A. Daily dynamics of vertical distribution and amount of sturgeons in riverbed depression in summer-autumn period. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2019;4:55-69. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2019-4-55-69.

REFERENCES

1. Wang Y., Xia Z., Wang D. A transitional region concept for assessing the effects of reservoirs on river habitats: a case of Yangtze River, China. *Ecohydrology*, 2012, no. 5 (1), pp. 28-35. DOI: 10.1002/eco.186.
2. Pobeditseva M. A., Makunin A. I., Kichigin I. G., Kulemzina A. I., Serdyukova N. A., Romanenko S. A., Vorobieva N. V., Interesova E. A., Korentovich M. A., Zaytsev V. F., Mischenko A. V., Zadelenov V. A., Yurchenko A. A., Sherbakov D. Y., Graphodatsky A. S., Trifonov V. A. Population genetic structure and phylogeography of sterlet (*Acipenser ruthenus*, *Acipenseridae*) in the Ob and Yenisei river basins. *Mitochondrial DNA Part A*, 2018, no. 30 (1), pp. 156-164. DOI: 10.1080/24701394.2018.1467409.
3. Katopodis C., Cai L., Johnson D. Sturgeon survival: The role of swimming performance and fish passage research. *Fisheries Research*, 2019, no. 212, pp. 162-171. DOI: org/10.1016/j.fishres.2018.12.027.
4. Gorman A. M., Kraus R. T., Gutowsky L. F. G., Vandergoot C. S., Zhao Y., Knight C. T., Faust M. D., Hayden T. A., Krueger C. C. Vertical habitat use by adult walleyes conflicts with expectations from fishery-independent surveys. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2019, no. 148 (3), pp. 592-604. DOI: 10.1002/tafs.10150.
5. DuFour M. R., Mayer C. M., Qian S. S., Vandergoot C. S., Kraus R. T., Kocovsky P. M., Warner D. M. Inferred fish behavior its implications for hydroacoustic surveys in nearshore habitats. *Fisheries Research*, 2018, no. 199, pp. 63-75. DOI: 10.1016/j.fishres.2017.11.018.
6. Iudanov K. I., Kalikhman I. L., Tesler V. D. *Rukovodstvo po provedeniiu gidroakusticheskikh s"emok* [Acoustic surveillance guide]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 1984. 1124 p.
7. *Spravochnaia informatsiia ob urovne rek dlia turistov-vodnikov, kaiakerov, rybakov* [Reference information on river levels for tourists, kayakers and fishermen]. Available at: <https://allrivers.info> (accessed: 25.10.2018).
8. 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. DOI: 10.1134/S0032945206110130.
9. Reshetnikov Iu. S. *Atlas presnovodnykh ryb Rossii* [Atlas of freshwater fish of Russia]. Moscow, Nauka Publ., 2003. Vol. 2. 253 p.
10. Wishingrad V., Chivers D. P., Ferrari M. C. Relative cost/benefit trade-off between cover-seeking and escape behaviour in an ancestral fish: The Importance of Structural Habitat Heterogeneity. *Ethology*, 2014, no. 120, pp. 973-981. DOI: 10.1111/eth.12269.
11. Wishingrad V., Ferrari M. C. O., Chivers D. P. Behavioural and morphological defences in a fish with a complex antipredator phenotype. *Animal Behaviour*, 2014, no. 95, pp. 137-143. DOI: 10.1016/j.anbehav.2014.07.006.

12. May L. E., Kieffer J. D. The effect of substratum type on aspects of swimming performance and behaviour in shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum*. *Journal of Fish Biology*, 2017, no. 90, pp. 185-200. DOI: 10.1111/jfb.13159.
13. Kieffer J. D., Arsenault L. M., Litvak M. K. Behavior and performance of juvenile shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum* at different water velocities. *Journal of Fish Biology*, 2009, no. 74, pp. 674-682. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2008.02139.x.
14. Chemagin A. A. *Sovremennoe ekologicheskoe sostoianie reki Irtysh v nizhnem techenii. Avtoreferat dis. ... kand. biol. nauk* [Current environmental status of the Irtysh River in its lower reaches. Diss. Abstr. ... Cand. Biol. Sci.]. Tiumen', 2015. 16 p.
15. Ruban G. I. Adaptive ecological and morphological features of the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt). *Inland Water Biology*, 2019, no. 12 (2), pp. 210-216. DOI: 10.1134/s1995082919020135.
16. Yuan X., Cai L., Johnson D., Tu Z., Huang Y. Oxygen consumption and swimming behavior of juvenile Siberian sturgeon *Acipenser baerii* during stepped velocity tests. *Aquatic Biology*, 2016, no. 24 (3), pp. 211-217. DOI: 10.3354/ab00649.
17. Cai L., Johnson D., Mandal P., Gan M., Yuan X., Tu Z., Huang Y. Effect of exhaustive exercise on the swimming capability and metabolism of juvenile Siberian sturgeon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2015, no. 144, pp. 532-538. DOI: 10.1080/00028487.2015.1007163.
18. Duan M., Qu Y., Zhuang P. Swimming characteristics of the siberian sturgeon. *The Siberian sturgeon (Acipenser Baerii, Brandt, 1869)*. Cham, Springer, 2017. Vol. 1 – Biology. Pp. 229-246. DOI: 10.1007/978-3-319-61664-3_12.
19. 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, no. 79, pp. 1146-1155. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2011.03094.x.
20. He X., Lu S., Liao M., Zhu X., Zhang M., Li S., You X., Chen J. Effects of age and size on critical swimming speed of juvenile Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* at seasonal temperatures. *Journal of Fish Biology*, 2013, no. 82, pp. 1047-1056. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2012.12015.x.
21. Shivaramu S., Santo C. E., Kašpar V., Bierbach D., Gessner J., Rodina M., Gela D., Flajšhans M., Wuertz S. Critical swimming speed of sterlet (*Acipenser ruthenus*): Does intraspecific hybridization affect swimming performance? *Journal of Applied Ichthyology*, 2019, no. 35, pp. 217-225. DOI: org/10.1111/jai.13834.
22. 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. DOI: 10.1242/jeb.041806.
23. Silva A. T., Katopodis C., Santos J. M., Ferreira M. T., Pinheiro A. N. Cyprinid swimming behavior in response to turbulent flow. *Ecological Engineering*, 2012, no. 44, pp. 314-328. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2012.04.015.
24. Chemagin A. A. The effect of vortex structures in the river bed on concentration and size differentiation of the fish population. *Biosystems Diversity*, 2018, no. 26 (2), pp. 139-144. DOI: 10.15421/011822.
25. Kough A. S., Jacobs G. R., Gorsky D., Willink P. W. Diel timing of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) activity revealed by satellite tags in the Laurentian Great Lake Basin. *Journal of Great Lakes Research*, 2018, no. 44 (1), pp. 157-165. DOI: org/10.1016/j.jglr.2017.10.008.
26. Parsley M. J., Popoff N. D., Wright C. D., Van der Leeuw B. K. Seasonal and Diel Movements of White Sturgeon in the Lower Columbia River. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2008, no. 137 (4), pp. 1007-1017. DOI: 10.1577/t07-027.1.
27. Kapusta A., Morzuch J., Duda A., Bogacka-Kapusta E., Kolman R. Dispersal and survival of stocked juvenile hatchery-reared Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus*). *Archives of Polish Fisheries*, 2016, no. 24 (4), pp. 243-249. DOI: 10.1515/aopf-2016-0021.
28. Pavlov D. S., Mikheev V. N. Downstream migration and mechanisms of dispersal of young fish in rivers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2017, no. 74 (8), pp. 1312-1323. DOI: 10.1139/cjfas-2016-0298.
29. Kubala M., Farský M., Pekárik L. Migration patterns of sterlet (*Acipenser ruthenus*, Linnaeus 1758) in the Middle Danube assessed by 1 year acoustic telemetry study. *Journal of Applied Ichthyology*, 2019, no. 35, pp. 54-60. DOI: org/10.1111/jai.13859.
30. Kalmykov V. A., Ruban G. I., Pavlov D. S. Migrations and resources of sterlet *Acipenser ruthenus* (*Acipenseridae*) from the lower reaches of the Volga River. *Journal of Ichthyology*, 2010, no. 50, pp. 44-51. DOI: org/10.1134/S0032945210010066.
31. Mehner T. Diel vertical migration of freshwater fishes - proximate triggers, ultimate causes and research perspectives. *Freshwater Biology*, 2012, no. 57 (7), pp. 1342-1359. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2012.02811.x.
32. Nowicki C. J., Bunnell D. B., Armenio P. M., Warner D. M., Vanderploeg H. A., Cavaletto J. F., Mayer C. M., Adams J. V. Biotic and abiotic factors influencing zooplankton vertical distribution in Lake Huron. *Journal of Great Lakes Research*, 2017, no. 43 (6), pp. 1044-1054. DOI: 10.1016/j.jglr.2017.08.004.

33. Watkins J. M., Collingsworth P. D., Saavedra N. E., O'Malley B. P., Rudstam L. G. Fine-scale zooplankton diel vertical migration revealed by traditional net sampling and a Laser Optical Plankton Counter (LOPC) in Lake Ontario. *Journal of Great Lakes Research*, 2017, no. 43 (5), pp. 804-812. DOI: 10.1016/j.jglr.2017.03.006.
34. Häfker N. S., Meyer B., Last K. S., Pond D. W., Hüppe L., Teschke M. Circadian clock involvement in zooplankton diel vertical migration. *Current Biology*, 2017, no. 27 (14), pp. 2194-2201.e3. DOI: 10.1016/j.cub.2017.06.025.
35. Chemagin A. A. Raspredelenie ryb v zimoval'noi iame v usloviakh ledovogo pokrytiia [Fish distribution in wintering pit under ice cover]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2018, vol. 20, no. 5-3, pp. 479-489.
36. Wang X., Zhang J., Zhao X., Chen Z., Ying Y., Li Z., Xu D., Liu Z., Zhou M. Vertical distribution and diel migration of mesopelagic fishes on the northern slope of the South China sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2019, no. 167, pp. 128-141. DOI: 10.1016/j.dsr2.2019.05.009.
37. Neilson J. D., Ian Perry R., Crawford L. M. Fish migration, vertical. *Encyclopedia of Ocean Sciences*. London, Elsevier, 2019. Pp. 217-223. DOI: 10.1016/b978-0-12-409548-9.10778-x.
38. Karashev A. V. *Rechnaia gidravlika* [River hydraulics]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1969. 418 p.
39. Baryshnikov N. B. *Ruslovyie protsessy: uchebnyk* [Channel processes: textbook]. Saint-Petersburg, Izd-vo RGGMU, 2008. 439 p.
40. Hrycik A. R., Collingsworth P. D., Sesterhenn T. M., Goto D., Höök T. O. Movement rule selection through eco-genetic modeling: Application to diurnal vertical movement. *Journal of Theoretical Biology*, 2019, no. 478, pp. 128-138. DOI: 10.1016/j.jtbi.2019.06.019.

The article submitted to the editors 28.10.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aldokhin Andrey Stepanovich – Russia, 626152, Tobolsk; Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences; Senior Laboratory Assistant of the Group of Ecology of Aquatic Organisms; vodnie.ekosystemi.lab@yandex.ru.

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 Group of Ecology of Aquatic Organisms; ChemaginAA@yandex.ru.

