

УДК 576.89

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЗАРАЖЕННОСТИ ЯЗЯ *LEUCISCUS IDUS* МЕТАЦЕРКАРИЯМИ ТРЕМАТОД СЕМЕЙСТВА OPISTHORCHIDAE И ЕЕ СОПРЯЖЕННОСТЬ С ФЛУКТУАЦИЕЙ УРОВНЯ ВОДЫ

© 2025 Е. Н. Ядренкина<sup>a,\*</sup>, А. В. Катохин<sup>b, \*\*</sup>

<sup>a</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН,  
ул. Фрунзе, д. 11, Новосибирск, 630091 Россия

<sup>b</sup> ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН,  
пр-т Академика Лаврентьева, д. 10, Новосибирск, 630090 Россия  
\* e-mail: Yadrenkina\_EN@mail.ru  
\*\* e-mail: katokhin@bionet.nsc.ru

Поступила в редакцию 02.12.2024

После доработки 12.03.2025

Принята к печати 14.03.2025

Изучена сезонная изменчивость зараженности язя *Leuciscus idus* метацеркариями представителей семейства Opisthorchidae в бассейне Верхней Оби. Сезонные показатели экстенсивности инвазии (ЭИ) существенно варьировали – от 18 до 72%, но среднегодовые значения были соподчинены – в пределах 43–46%. Интенсивность инвазии снижалась в весенние месяцы, по сравнению с летне-осенним периодом, в среднем на 20% во все годы исследования (2012–2016 гг.). Выявленна отрицательная корреляция между ИИ рыб и уровнем воды в период эмиссии церкарий,  $r = -0.83$ . Предложены три основные гипотезы, объясняющие снижение инвазированности рыб в период ледостава. Согласно первым двум гипотезам, относительно высокая элиминация метацеркарий в зимние месяцы может быть вызвана либо низкой температурой воды, либо гипоксией, которая формируется под ледовым покровом. Согласно третьей гипотезе, жесткие условия зимовки могут обусловить гибель физиологически ослабленных зараженных рыб в результате переохлаждения организма и асфиксии.

**Ключевые слова:** Trematoda, Cyprinidae, экстенсивность инвазии, интенсивность инвазии, река Обь, Западная Сибирь

**DOI:** 10.31857/S0031184725020024, **EDN:** TYQUOU

Описторхоз – паразитарное заболевание, вызываемое trematodами сем. Opisthorchidae, – широко распространен на территории Западной Сибири. Сложный жизненный цикл возбудителя осуществляется через двух промежуточных хозяев – моллюсков сем. Bithyniidae и рыб сем. Cyprinidae. Группу окончательных хозяев составляют человек и рыбоядные млекопитающие (Пустовалова, Фаттахов, 1984; Журавлев и др., 1989; Беэр, 2005; Karpenko et al., 2008; Бочарова, 2011; Аринжанов, Лядова, 2016; Yurlova et al., 2017; Fedorova et al., 2020 и др.). Высокую амплитуду варьирования показателей интенсивности и экстенсивности инвазии чаще всего связывают с показателями плотности распределения и уровня зараженности первых промежу-

точных хозяев описторхид, брюхоногих моллюсков сем. *Bithyniidae* (Вепрева, Фаттахов, 2008; Serbina, 2020 и др.), — а распространение личинок описторхид по всему Обскому бассейну связано с перемещениями карповых рыб на большие расстояния от мест их заражения (Yadrenkina, 2010; Бочарова, 2011; Ядренкина, Ядренкин, 2023 и др.). Данные научных публикаций о зараженности рыб метацеркариями описторхид на разных участках гидросети Западной Сибири весьма противоречивы. Исследователи акцентируют внимание на существенных различиях в уязвимости разных видов карповых к проникновению церкарий в зависимости от биологических свойств определенного вида, размеров тела, возраста рыб и условий их обитания (Горячев, 1958; Федоров, 1979; Chabb, 1979; Соусь, 1990, 2006; Либерман, Медведева, 2017; Либерман, Волосников, 2021). Для того чтобы выяснить, изменяются ли показатели зараженности рыб в сезонном аспекте, необходимы дополнительные исследования.

Среди карповых рыб Обского бассейна самой высокой зараженностью метацеркариями trematod родов *Opisthorchis* и *Metorchis* характеризуются представители рода *Leuciscus* – елец *L. leuciscus* и язь *L. idus* (Митрохин, 1962; Пельгунов, 2012; Маюрова, Кустикова, 2019). Известно, что на некоторых участках бассейна Оби личинками описторхид инвазированы до 100% ельца и язя (Мартынов, 1967; Скареднов и др., 1984; Пельгунов, 2012; Беляева и др., 2016 и др.). Результатами некоторых исследований показана повышенная интенсивность инвазии рыб старших возрастных групп по сравнению с молодью (Беэр и др., 1974; Пельгунов, 2010; и др.). Сопряженность зараженности рыб с величиной разлива рек в период весеннего паводка и гидро-экологическим типом водоемов свидетельствует о том, что уровень воды имеет важное значение в трансмиссии описторхид (Горячев, 1958; Мартынов, 1967; Фаттахов, 2012). При этом климатические флуктуации в Западной Сибири, определяющие в условиях разных лет не только колебания уровня воды, продолжительность ледового покрова, толщину и плотность льда, интенсивность развития гипоксии и др., отражаются на жизнеспособности метацеркарий в теле рыб, что до настоящего времени оставалось малоизученным звеном. Поэтому задача оценки риска заражения человека и животных описторхидами в меняющихся условиях среды является весьма актуальной.

Проведенное исследование направлено на изучение показателей зараженности язы *L. idus* описторхидами в Верхней Оби в зависимости от сезона года и уровня воды.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

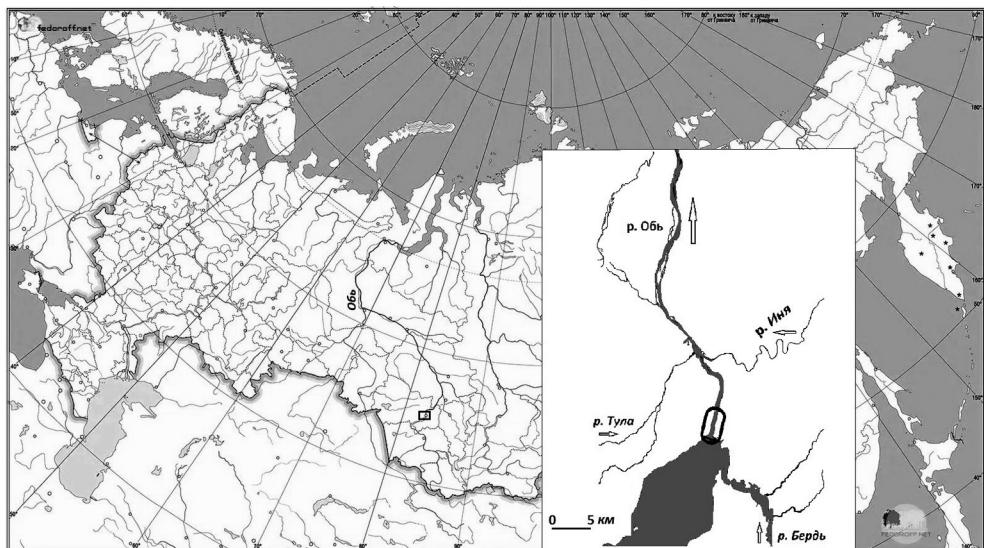
Мониторинговая площадка расположена на участке Оби ниже Новосибирской ГЭС ( $54^{\circ}50'$  с.ш.,  $82^{\circ}59'$  в.д.) (рис. 1). Отлов рыб проведен с использованием ставных жаберных сетей. Возраст устанавливали по числу годовых колец на чешуе по И.Ф. Правдину (1966). Из уловов отобраны язи возрастов 4+–6+ лет с длиной тела 28–33 см и массой тела 450–680 г. Преобладали пятилетние особи. Общий объем составили 655 экз. (табл. 1).

#### Методы выделения метацеркарий

Основные участки локализации метацеркарий описторхид в теле рыб – мышечная ткань (Беэр, 2005). Каждую выборку отловленных язей разделяли на группы зараженных и незараженных рыб, просматривая под микроскопом МБС-10 фрагменты мышц размером  $3 \times 3$  см, вырезанные около дорзального плавника. Затем мышечную ткань зараженных рыб отделяли от костей осевого скелета и весь объем измельченной массы помещали в водный раствор искусственного желудочного сока («Ацидо-пепсин» в концентрации  $12.5 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ ). Биоматериал выдерживали при  $37^{\circ}\text{C}$  в течение 12–14 час до полного растворения. Полученную суспензию

в трехкратной повторности декантировали проточной водой и промывали через сите с размером ячей  $1 \times 1$  мм. Отфильтрованную фракцию помещали в физиологический раствор (0.9% раствор NaCl). Количество метацеркарий рассчитывали по микрофотографиям, изготовленным с помощью стереомикроскопа Альтами СМ0745-Т и программы Altami Studio 3.3. На рис. 2 изображены метацеркарии на часовом стекле. Размеры цист контрольной выборки соответствуют размерным показателям *O. felineus*: от  $0.17 \times 0.21$  мм до  $0.34 \times 0.43$  мм (по: Беэр, 2005), от  $0.17 \times 0.25$  до  $0.28 \times 0.37$  мм (по: Ромашов и др., 2005).

Таким образом, в анализ были включены данные по зараженности интегрированных выборок рыб.



**Рисунок 1.** Расположение места отлова рыб на территории Северной Евразии.

**Figure 1.** Location of fish catching area in Northern Eurasia.

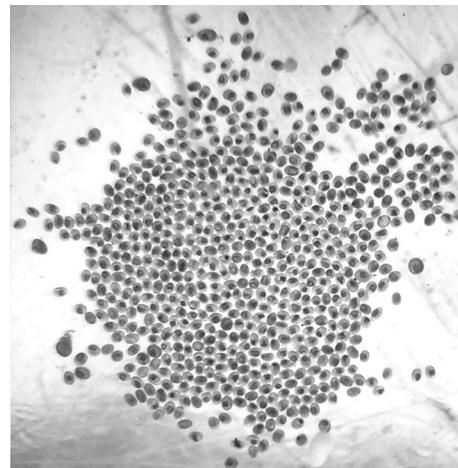
**Таблица 1.** Общий объем материала (количество экземпляров язя *L. idus*), использованного в исследовании

**Table 1.** Total volume of material used in the study, number of individuals of ide *L. idus*

Год	Месяц				N
	XII–II	III–V	VI–VIII	IX–XI	
2012	24	—	—	—	24
2013	10	16	20	55	101
2014	43	68	29	28	168
2015	47	54	39	47	187
2016	25	58	56	60	199
N	149	196	144	190	655

Примечания. N – количество рыб, экз.

Note. N – total number of fish.



**Рисунок 2.** Микрофотография 670 метацеркарий *O. felineus* на часовом стекле.

**Figure 2.** Micrograph of 670 *O. felineus* metacercariae in a watch glass.

#### **Методы определения таксономического статуса метацеркарий**

Видовую принадлежность метацеркарий, отобранных из мышц рыб, предварительно пытались определить по размерам цист, которые у представителей р. *Metorchis* в сравнении с р. *Opisthorchis* в среднем на 0.05–0.07 мм меньше (Беэр и др., 1987). Учитывая вариабельность этих показателей, делать вывод о видовом статусе описторхид по этим признакам весьма проблематично. Поэтому часть метацеркарий выборочно использовали для заражения золотистых хомячков *Mesocricetus auratus* с последующим изучением морфологии марит, которые были выращены в печени экспериментальных животных и морфологические особенности которых позволили установить принадлежность взрослых червей виду *Opisthorchis felineus*.

Уточнение таксономического статуса метацеркарий описторхид, извлеченных из мышц язей, проведено методом молекулярно-генетической диагностики, который предусматривал применение универсальных праймеров ДНК *O. felineus* или *M. bilis* и создание условий для проведения полимеразной цепной реакции (ПЦР) для описторхид (ITS2exF – 5'-GAACATCGACATCTTGAACG-3', ITS2exR – 5'-GGAACGACCTGAACACCA-3') и видоспецифичные (Off – 5'-ATGATTCCCCACGCAT-3', MbF – 5'-TTTGGTTGAAGCTCCAGTAG-3') (Брусенцов и др., 2010). Для решения этой задачи анализировали размеры ампликонов после электрофоретического фракционирования с использованием набора реактивов фирмы «Биисилика» (Новосибирск) по протоколу производителя (три препарата геномной ДНК): из 1500 метацеркарий из мышц язей, из 100 особей половозрелых *O. felineus*, из одной особи *Metorchis bilis*, выделенной из желчного пузыря черного коршуна.

Пригодность ДНК для ПЦР-анализа определяли с помощью универсальных для описторхид праймеров ITS2exF и ITS2exR по электрофоретическому выявлению ПЦР-продукта размером ~ 530 н.п. Видовой статус установлен при помощи ПЦР-анализа с использованием праймера ITS2exR в паре с одним из видоспецифичных праймеров Off или MbF по электрофоретическому выявлению продукта размером 408 н.п. в случае ДНК *O. felineus* и 237 н.п. – в случае ДНК *M. Bilis* (Бруsenцов и др., 2010).

#### **Методы оценки зараженности рыб**

**Экстенсивность инвазии** (ЭИ) оценивали по средне-сезонным показателям 2014–2016 гг., в % общей численности отловленных рыб (табл. 2). Материалы 2013 г. не включены в анализ сезонной динамики ЭИ из-за недостаточной репрезентативности выборок, их использование

могло исказить объективную оценку полученных сведений. По той же причине исключены из анализа выборки, составляющие в 2014–2016 гг. менее 10 экз.

**Таблица 2.** Объем материала, использованного для оценки экстенсивности инвазии язя *L. idus* метацеркариями *O. felineus*

**Table 2.** The volume of material used to estimate the infestation rate of *L. idus* by *O. felineus* metacercariae

Год	Сезон				N
	Зима	Весна	Лето	Осень	
2014	–	2 / 39	2 / 29	2 / 54	122
2015	1 / 15	1 / 14	2 / 41	3 / 47	117
2016	2 / 41	4 / 88	2 / 43	3 / 60	232
N	56	141	113	161	471

Примечания. В числителе – количество выборок, в знаменателе – количество экземпляров. N – количество рыб, экз.

Notes. In numerator – number of samples, in denominator – number of fish. N – total number of fish.

**Интенсивность инвазии (ИИ)** всех зараженных рыб рассчитана по формуле:

$I = (10 \sum n \cdot 100) \cdot N^{-1}$  (Беэр и др., 1987), где: I – ИИ,  $\sum n$  – общее число метацеркарий, N – число обследованных инвазированных рыб (655 экз.).

#### Анализ полученных данных

Для обработки полученного массива данных использовали стандартные методы статистического анализа (Урбах, 1975). Динамику показателей ЭИ рыб в разные сезоны и годы (2014–2016 гг.) оценивали, опираясь на сравнение средневыборочных значений и показателей стандартного отклонения (SD) от среднего (M). ИИ рассчитывали по средней взвешенной зараженности рыб в разные сезоны 2013–2016 гг. с учетом стандартной ошибки среднего (m). Оценку сопряженности температуры воздуха и уровня воды с показателями ИИ и ЭИ рыб проводили с использованием коэффициента корреляции (r). В поле диаграмм включены формулы трендов динамики ЭИ, что позволяет другим специалистам-паразитологам в дальнейшем сопоставлять свои данные с результатами проведенного нами исследования.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

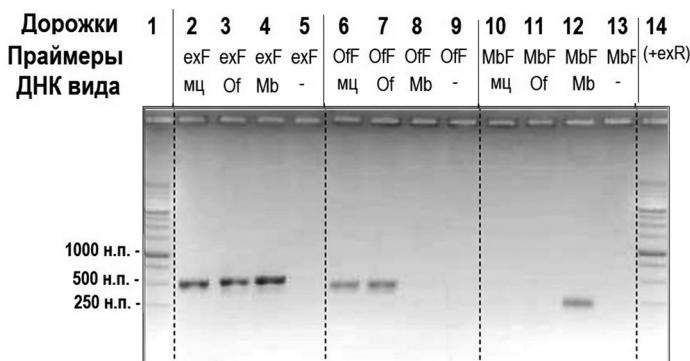
#### Таксономический статус метацеркарий описторхид в мышечной ткани изучаемой группы язей

Таксономический статус отдельных экземпляров метацеркарий с неясно выраженным морфологическими признаками и экземпляров выведенных в эксперименте марки устанавливали с привлечением молекулярно-генетических методов видовой диагностики на основе сопоставления последовательностей секвенированных продуктов ПЦР (для маркеров ITS2) с последовательностями, депонированными в ГенБанке (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank>). Поскольку определение видового статуса по нуклеотидным последовательностям возможно только в случае анализа отдельных индивидуумов, для подтверждения моноспецифичности материала был проведен анализ с использованием видоспецифичных праймеров, позволяющих после электрофоретического фракционирования определять видовой статус особей по размеру ампликонов (Брусенцов и др., 2010). Тем самым было подтверждено соответствие тестируемых особей виду *O. felineus*.

Важно отметить, что среди трематод семейства Opisthorchidae, описанных для бассейна Оби, помимо *O. felineus*, высока возможность встречаемости в мышцах язей метацеркарий *Metorchis bilis* (Бонина, Сербина, 2011; Либерман, Медведева, 2017; Морозко и др., 2022). На примере зараженности язя в Нижнем Иртыше показано, что экстенсивность инвазии язя метацеркариями *O. felineus* составила 70 %, сочетанная инвазия с *M. bilis* – 25 %, особей, при этом особей, зараженных только меторхисами, не выявлено (Либерман, Медведева, 2017).

Несмотря на то, что цисты метацеркарий *M. bilis* несколько меньше *O. felineus*, эти различия не могут быть применены в качестве надежного индикатора вида (Ромашов, 2005). Тем не менее при выделении метацеркарий описторхид из мышечной ткани язей проводился визуальный осмотр, который показал сходство всех личинок по размерам; их использовали при многократных заражениях сирийских хомячков суспензиями трематод (порциями по 50 или 100 особей), что позволило получить взрослых червей, идентифицированных методом молекулярно-генетического анализа как *O. felineus*. Следует отметить, что авторы имеют опыт успешного выращивания в сирийских хомячках взрослых червей из метацеркарий *M. bilis* (Kiyan et al., 2018).

Чтобы удостовериться, что в исследованных препаратах мышц рыб отсутствуют метацеркарии *M. bilis* (или они единичны), проведено молекулярно-генетическое определение видового статуса ДНК, выделенной из интегрированного образца метацеркарий (07.03.2013 г.). На рис. 3 показаны результаты ПЦР- и электрофоретического анализов описанных выше трех препаратов геномной ДНК с помощью видоспецифичных праймеров, указывающих на присутствие только ДНК *O. felineus*, но не *M. bilis*.



**Рисунок 3.** Электрофорограмма продуктов ПЦР с использованием трех препаратов геномной ДНК (мц – метацеркарии из язей, Of – *O. felineus*, Mb – *M. bilis*) и трех парных сочетаний праймеров (ITS2exR и ITS2exF, или OfF, или MbF). На дорожках 1 и 14 – маркер длии ДНК, размер трех фрагментов обозначен.

**Figure 3.** Electrophoregram of PCR products using three preparations of genomic DNA (мц – metacercariae from ide, Of – *O. felineus*, Mb – *M. bilis*) and three paired primer combinations (ITS2exR and ITS2exF, or OfF, or MbF). Lines 1 and 14 are DNA, with the three fragment length markers labelled on the left.

Учитывая более высокую чувствительность ПЦР-анализа по сравнению с методом биопробы (МУК 3.2.3804-22), мы сделали заключение, что все особи язей, отловлен-

ных на приплотинном участке Верхней Оби, были заражены преимущественно (как минимум с тысячекратным преобладанием) метацеркариями *O. felineus*. Хотя нельзя исключить возможность заражения рыб в разные годы и представителями р. *Metorchis*, о чем сказано выше, далее по тексту мы акцентируем внимание на *O. felineus*.

### Сезонная динамика экстенсивности инвазии язя

Заражение рыб метацеркариями *O. felineus* связано с сезонной активностью первого промежуточного хозяина (сем. *Bithyniidae*, *Gasropoda*). Массовая эмиссия церкарий описторхид ограничена временным интервалом с конца июня до конца июля (Сербина, 2012). Сами метацеркарии становятся инвазивными через 30–40 суток после внедрения в тело второго промежуточного хозяина – рыбы сем. *Cyprinidae* (Беэр, 2005). Следовательно, сформировавшись в теле рыб в середине лета, они становятся инвазивными в конце августа – сентябре текущего года. По нашим данным, в сезонном аспекте максимальные показатели ЭИ в популяции язя регистрируются в октябре–декабре.

Показатели соотношения зараженных и незараженных рыб в месте их отлова свидетельствуют о том, что среднегодовая ЭИ рыб по всем годам наблюдений различалась незначительно, составляя около 45% (табл. 3), но сезонные показатели ЭИ существенно варьировали – от 18 до 72%, причем наименьшие средневыборочные значения зарегистрированы в весенние и летние месяцы.

**Таблица 3.** Показатели ЭИ язя *L. idus* метацеркариями *O. felineus*, в % от общей численности рыб

**Table 3.** Indicators of prevalence of *L. idus* by *O. felineus* metacercariae, in % of the total fish number

Год, показатель	Сезон				Среднегодовое значение	N
	Зима	Весна	Лето	Осень		
2014	–	18	69	–	43.5	122
2015	67	36	32	49	45.8	117
2016	44	38	30	72	45.8	232
Среднесезонное	50	38.3	43.6	62.9	45.0	
SD	11.8	9.8	18.0	11.6		
N	56	141	113	161		471

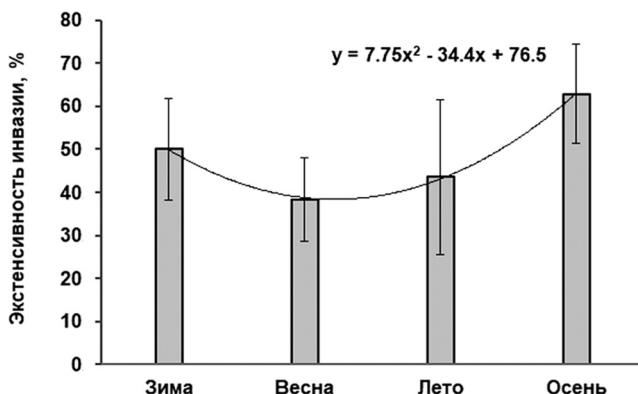
Примечание. SD – стандартное отклонение; N – количество рыб, экз.

Note. SD – standard deviation; N – number of fish.

В целом, выявленный тренд полиномиальной функции свидетельствует о снижении ЭИ язя в весенний период с последующим увеличением к концу лета и максимумом осенью (рис. 4).

Согласно полученным нами данным, снижение показателей ЭИ обской популяции язя к концу ледостава возможно обусловлено тем, что: I – часть метацеркарий элиминируют в мышечной ткани рыб при низкой температуре воды; II – гибель личинок трематод связана с условиями гипоксии, формирующейся под ледовым покровом рек и озер Западной Сибири (Ядренкина, 2010); III – высокая смертность зараженных

(ослабленных) рыб наблюдается в результате возникновения синдрома зимнего стресса (Lemly, 1996), связанного с переохлаждением организма и истощением энергетических ресурсов.



**Рисунок 4.** Сезонная динамика экстенсивности инвазии язя метацеркариями *O. felineus* в нижнем бьефе Новосибирской ГРЭС. На диаграмме приведены планки стандартного отклонения (SD), линия тренда сезонной динамики и формула степенной функции полиномиальной зависимости.

**Figure 4.** Seasonal dynamics of ide infestation rate by *O. felineus* metacercariae in the downstream of the Novosibirsk hydropower dam. The graph shows the sections of standard deviation (SD), the trend line of seasonal dynamics and the formula of the degree polynomial function.

В целом, увеличение ЭИ в осенний период согласуется с результатами исследований, касающихся периода эмиссии церкарий из тела моллюсков в водную среду (конец июня – июль) и последующего созревания метацеркарий в тканях рыб (около 30 дней) (Сербина, 2012). Следует отметить, что все версии о причинах снижения показателей ЭИ к началу таяния ледового покрова реки требуют проведения специальных исследований.

#### Сезонная динамика интенсивности инвазии язя

Амплитуда варьирования ИИ в популяции язя чрезвычайно высока (табл. 4): ошибка среднего ( $m$ ) относительно расчетных средне-выборочных значений (принятых за единицу) может достигать 0.93. Причина высокой вариабельности показателей ИИ язя метацеркариями описторхид может быть обусловлена разными причинами. Рыбы подвижны (Ядренкина, Ядренкин, 2023; Yadrenkina, 2010), поэтому на одном и том же участке реки результаты анализа их зараженности в разные интервалы времени могут существенно различаться из-за высокой миграционной активности карповых в периоды размножения и нагула. Кроме того, разброс в показателях ИИ может быть связан с неравномерным распределением промежуточного хозяина (сем. *Bithyniidae*) на прибрежных биотопах речных систем, а также различиями в количестве выделяемых церкарий описторхид на разных участках водоема (Serbina, 2020). Также важно учитывать различия в физиологическом состоянии карповых в период зимовки. На заморенных участках рек под воздействием гипоксии организм рыб ослаблен (Lemly,

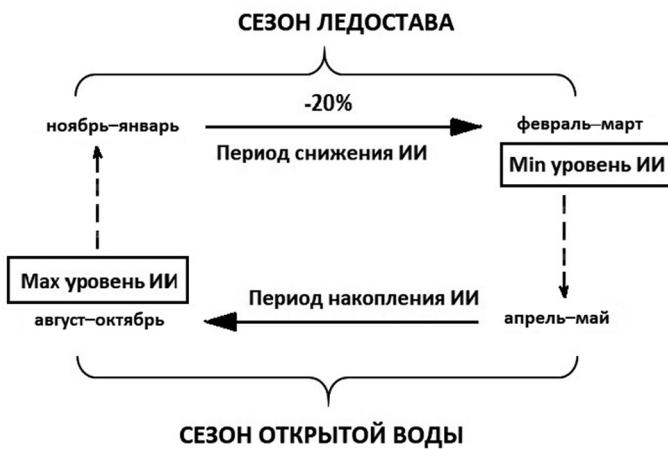
1996), и их жизнеспособность снижается по сравнению с жизнеспособностью обитателей биотопов с высоким содержанием растворенного в воде кислорода. Можно предположить, что снижение зараженности рыб в течение зимних и весенних месяцев на 20% по сравнению с летним и осенним сезонами определяется интегрированным (совокупным) воздействием вышеперечисленных факторов (рис. 5).

**Таблица 4.** Средние значения показателей ИИ язя *L. idus* метацеркариями *O. felineus*  
**Table 4.** Mean values of abundance of *O. felineus* metacercariae in *L. idus*

Год, показатель	Зима M±	Весна M±	Лето M±	Осень M±	Среднегодовое значение M±
2012	555	—	—	—	
2013	595±	522±	450±	268	486±
2014	241±	274±	354±	214±	291±
2015	265±	180±	332±	278±	265±
2016	243±	204±	204±	292±	243±
Среднемноголетний показатель	380	295	335	263	320

Примечание. M – среднее значение, m – стандартная ошибка среднего.

Note. M – mean value, m – standard error of the mean.



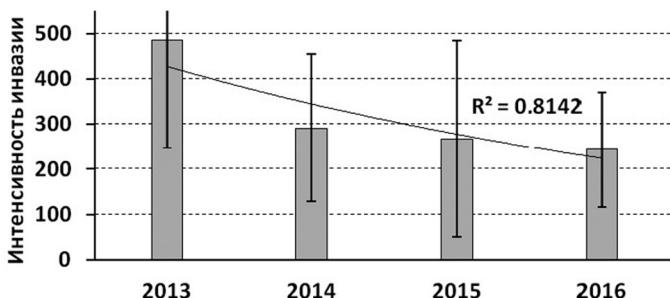
**Рисунок 5.** Схема сезонной динамики зараженности язей (интенсивность инвазии) метацеркариями *O. felineus* ниже плотины Новосибирской ГЭС, 2013–2016 гг.

**Figure 5.** Scheme of seasonal dynamics infestation abundance of ide with *O. felineus* metacercariae at downstream of the Novosibirskaya HPP dam, 2013–2016.

### Сопряженность зараженности рыб с уровнем воды

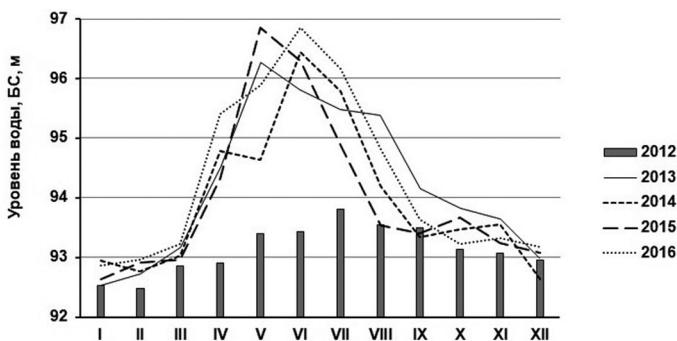
Результаты анализа динамики среднемноголетних показателей ИИ язя показали, что в период 2014–2016 гг., по сравнению с 2013 г., произошло существенное снижение зараженности популяции (рис. 6), а в период активной эмиссии церкарий наблюдался высокий уровень отрицательной корреляции зараженности рыб и уровня воды ( $r = -0.83$ ).

Учитывая прямую зависимость скорости течения от уровня воды в речном русле, можно предположить, что в условиях высокой водности плотность «церкариозных» зон снижается за счет расширения площади разливов, а также по причине выноса значительной части церкарий потоком воды от мест обитания битиниид, в свою очередь обусловливая снижение среднего показателя ИИ рыб. Термином «церкариозная зона» мы обозначаем участки, на которых отмечается высокая плотность активно перемещающихся церкарий; обычно церкариозные зоны приурочены к мелководьям реки с замедленной скоростью течения. По сравнению с 2013–2016 гг. 2012 г. характеризовался самым низким уровнем воды (рис. 7), что, по-видимому, способствовало накоплению паразитарной инвазии: ИИ язя в 2013 г. была на 45% выше при сопоставлении с тремя последующими годами, характеризующимся относительно высоким уровнем воды и высокой скоростью течения в прибрежных биотопах.



**Рисунок 6.** Показатели ИИ язей метацеркариями *O. felineus* в Верхней Оби, 2013–2016 гг. На диаграмме приведены планки стандартного отклонения (SD), линия тренда многолетней динамики ИИ.  $R^2$  – достоверность аппроксимации.

**Figure 6.** Dynamics of abundance of *O. felineus* metacercariae in ide in the Upper Ob, 2013–2016. The graph shows the sections of standard deviation (SD), the trend line of multiyear dynamics of abundance of *O. felineus* metacercariae,  $R^2$  – reliability of approximation.



**Рисунок 7.** Динамика среднемесечных показателей уровня воды в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС (данные Верхне-Обского Бассейнового Водного Управления от 12.12.2016, № 05-11/1875).

**Figure 7.** Dynamics of monthly average water level indicators in the downstream of Novosibirskaya HPP (data of the Upper Ob Basin Water Directorate of the Federal Water Resources Agency, 12.12.2016, No. 05-11/1875).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного анализа отражают различия в показателях ИИ и ЭИ язей в Верхней Оби в зависимости от сезона года. По сравнению с периодом открытой воды ИИ рыб в период ледостава снижается в среднем на 20%. В качестве фактора, значимо влияющего на зараженность популяции рыб, следует рассматривать сезонную и многолетнюю изменчивость показателей уровня воды, определяющую скорость течения, площадь заливаемой поймы, термический режим на разных участках русла реки, что влияет на распределение и плотность церкарий описторхид. С учетом высокой амплитуды вариабельности показателя ЭИ следует обратить внимание на актуальность формирования региональной базы данных по динамике заражения разных видов рыб в пространственно-временном аспекте, что необходимо для разработки мер по профилактике заболевания населения описторхозом.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность сотрудникам лаборатории молекулярных механизмов патологических процессов ФИЦ Института цитологии и генетики СО РАН В.В. Антонову за проведение отлова рыб, а также Г.М. Красовской и Н.М. Голубевой за первичную обработку материала, сотрудникам Института систематики и экологии животных СО РАН – к.б.н. Н.И. Юрловой и к.б.н. Е.А. Сербиной – за активное обсуждение полученных результатов, руководителю Верхне-Обского Бассейнового водного управления В.И. Борисенко за предоставленные многолетние данные по уровню воды в месте проведения исследования.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа подготовлена к публикации при финансовой поддержке Программы НИР ИСиЭЖ СО РАН № FWGS-2021-0002, молекулярно-генетическое исследование проведено по Программе научных исследований ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0019.

## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных, соответствующих критериям Директивы 2010/63/EU.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аринжанов А.Е., Лядова А.Ю. 2016. Описторхоз: эпидемиология, профилактика, лечение. Территория науки 6: 7–13. [Arinzhakov A.E., Lyadova A.Yu. 2016. Opisthorchiasis: epidemiology, prevention, treatment. Territory of Science 6: 7–13 (in Russian)]. <https://cyberleninka.ru/article/n/opistorhoz-epidemiologiya-profilaktika-lechenie?ysclid=m3rijq5lsy135979967>
- Беляева М.И., Осипов А.С., Пустовалова В.Я., Катин А.А. 2016. Оценка зараженности рыб семейства карповых метацеркариями описторхса в гиперэндемичном очаге Западной Сибири. Информационный бюллетень «Здоровье населения и среда обитания» 2: 32–34. [Belyaeva M.I., Stepanova T.F., Mefodyev V.V., Pustovalova V.Ya. 2016. Assessment of the cyprinids infestation by metacercaria of *opisthorchis* in hyperendemic foci of the Western Siberia. Information bulletin “Population health and environment” 2: 32–34. (in Russian).] <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-zarazhennosti-ryb-semeystva-karpovyyh-metatserkariyami-opistorha-v-giperendemichnom-ochage-zapadnoy-sibiri?ysclid=m3y6txp47w787089131>

- Беэр С.А., Бочарова Т.А., Завойкин В.Д., Цейтлин Д.Г. 1974. Инвазия метацеркариями описторхисов карповых рыб Оби на севере Томской области. Паразитология и паразитарные болезни 1: 90–95. [Beer S.A., Bocharova T.A., Zavoykin V.D., Tseytlin D.G. 1974. Invasion by *Opisthorchis* metacercaria of carp-type fish of the Ob in the north of Tomsk district. Parasitology and parasitic diseases 1: 90–95 (in Russian)].
- Беэр С.А., Белякова Ю.В., Сидоров Е.Г. 1987. Методы изучения промежуточных хозяев возбудителя описторхоза. АН КазССР, Ин-т зоологии. Алма-Ата, Наука КазССР, 1–84. [Beer S.A., Belyakova Y.V., Sidorov E.G. 1987. Methods of study of intermediate hosts of the opisthorchiasis agent. Academy of Sciences of the KazSSR, Institute of Zoology. Alma-Ata, Nauka KazSSR, 1–84 (in Russian)].
- Беэр С.А. 2005. Биология возбудителя описторхоза. М., Товарищество научных изданий КМК, 336 с. [Beer S.A. 2005. Biology of the agent of opisthorchiasis, Moscow, KMK, 336 pp. (in Russian)].
- Бонина О.М., Сербина Е.А. 2011. Выявление локальных очагов описторхидозов в пойме реки Обь и в Новосибирском водохранилище. Сообщение 1. Зараженность карповых рыб метацеркариями описторхид. Российский паразитологический журнал 2: 24–30. [Bonina O.M., Serbina E.A. 2011. Identification of local foci of opisthorchiasis in the Ob River floodplain and in the Novosibirsk reservoir. Report 1. Infection of carp fish with opisthorchid metacercariae. Russian Journal of Parasitology 2: 24–30.]
- Бочарова Т.А. 2011. Роль некоторых карповых рыб в эпидемиологии описторхоза Томской области. Альманах научных открытий. [Bocharova T.A. 2011. The role of some cyprinid fishes in the epidemiology of opisthorchiasis of Tomsk region. Almanac of scientific discoveries (in Russian)]. <http://tel.e-conf.ru/aktualnyie-problemy-i-infektologii-i-parazitologii/rol-nekotoryih-karpovyih-ryib-v-epidemiologii-opistorhoza-tomskoy-oblasti.html>
- Брусенцов И.И., Катохин А.В., Сахаровская З.В., Сазонов А.Э., Огородова Л.М., Федорова О.С., Колчанов Н.А., Мордвинов В.А. 2010. ДНК-диагностика микст-инвазий *Opisthorchis felineus* и *Metorchis bilis* с помощью метода ПЦР. Медицинская паразитология и паразитарные болезни 2 (2): 10–13. [Brusentsov I.I., Katokhin A.V., Sakharovskaya Z.V., Sazonov A.E., Ogorodova L.M., Fedorova O.S., Kolchanov N.A., Mordvinov V.A. 2010. DNA-diagnosis of mixed invasions of *Opisthorchis felineus* and *Metorchis bilis* by polymerase chain reaction. Parasitology and parasitic diseases 2 (2): 10–13. (in Russian)].
- Вепрева В.В., Фаттахов Р.Г. 2008. Оценка зараженности карповых рыб метацеркариями trematod сем. Opisthorchiidae в водоемах города Тюмени. Вестник Омского госуниверситета 85: 137–141.
- Глазков Г.А. 1979. Выделение метацеркариев некоторых trematod из пораженной ткани рыб методом переваривания в искусственном желудочном соке. Болезни и паразиты рыб Ледовитоморской провинции (в пределах СССР). Томск, 72–82. [Glazkov G.A. 1979. Isolation of metacercariae of some trematodes from affected fish tissue by dissolved in artificial gastric juice. Diseases and parasites of fish of the Arctic Sea province (within the USSR). Tomsk, 72–82. (in Russian)].
- Горячев П.П. 1958. Влияние уровня разлива рек на процесс развития возбудителя описторхоза. Зоологический журнал 37 (12): 1757–1783. [Goryachev P.P. 1958. Influence of the level of river spillage on the process of development of the causative agent of opisthorchiasis. Zoological Journal 37 (12): 1757–1783. (in Russian)].
- Журавлев С.Е., Галактионов О.К., Ефимов В.М. 1989. Гельминтозы у населения Севера Западной Сибири. Сообщение I. Описторхоз и микстинвазии у коренных жителей Приобья и их клиническое течение. Медицинская паразитология и паразитарные болезни 5: 54–57. [Zhuravlev S.E., Galaktionov O.K., Efimov V.M. 1989. Helminthoses in the population of the North of Western Siberia. Message I. Opisthorchiasis and mixtinvasiasis in the indigenous inhabitants of the Priobye and their clinical course. Medical parasitology and parasitic diseases 5: 54–57. (in Russian)].
- Либерман Е.Л., Медведева И.Н. 2017. Показатели инвазии массовых видов карповых рыб Нижнего Иртыша метацеркариями сем. Opisthorchiidae. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство 4: 37–42. [Liberman E.L., Medvedeva I.N. 2017. Indicators of invasion of mass carp species by metcercariae of Opisthorchiidae family in the Lower Irtysh. Vestnik of Astrakhan State Technical University, Series Fishing Industry 4: 37–42. (in Russian)]. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2017-4-37-42>
- Либерман Е.Л., Волосников Г.И. 2021. Динамика паразитофауны различных возрастных групп язя *Leuciscus idus* (L. 1758) Нижнего Иртыша. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство 3: 109–119. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2021-3-109-119> [Liberman E.L., Volosnikov G.I. 2021. Dynamics of parasitofauna of different age groups of ide *Leuciscus idus* (L. 1758) of Lower Irtysh. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series fishing industry. 3: 109–119. (in Russian)].

- Мартынов В.Ф. 1967. Зараженность язей личинками описторхисов в зависимости от разливов реки Иртыша. Вопросы эпизоотологии и профилактики болезней животных. Омск, Западно-Сибирское книжное издательство, 15: 246–251. [Martynov V.F. 1967. Infestation of ide with *Opisthorchis* larvae depending on flooding of the Irtysh River. Questions of epizootology and the prevention of animal diseases. Omsk: Zapadno-Sibirskoe book publishing house 15: 246–251. (in Russian)].
- Майрова А.С., Кустикова М.А. 2019. Оценка зараженности метацеркариями описторхид рыб семейства карловых в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. Российский паразитологический журнал 13(4): 56–66. [Maiurova A.S., Kustikova M.A. 2019. Estimation of Infection with Metacercariae of Opisthorchid Fishes of the Cyprinidae Family in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra. Russian Journal of Parasitology 13(4): 56–66. (in Russian)]. DOI:10.31016/1998-8435-2019-13-4-56-66
- Митрохин В.У. 1962. Зараженность рыб метацеркариями описторхисов в водоемах Ханты-Мансийского национального округа. Труды ВНИИ Ветеринарной Санитарии 20: 329–333. [Mitrokhin V.U. 1962. Infestation of fish with *Opisthorchis* metacercariae in water bodies of Khanty-Mansiyk National District. Proceedings of the Russian Research Institute of Veterinary Sanitation 20: 329–333. (in Russian)].
- Морзко А.В., Дорогин М.А., Морузи И.В., Пищенко Е.В. 2022. Влияние экологических особенностей язя Новосибирского водохранилища на его заражение *Methorchis bilis*. Рыбоводство и рыбное хозяйство 16 (7): 488–497. DOI 10.33920/sel-09-2207-05. [Morzko A.V., Dorogin M.A., Moruzi I.V., Pishchenko E.V. 2022. The influence of ecological features of the ide of the Novosibirsk Reservoir on its infection with *Methorchis bilis*. Fish farming and fisheries 16 (7): 488–497. https://doi.org/10.33920/sel-09-2207-05]
- МУК 3.2.3804-22 «Методы санитарно-паразитологической экспертизы рыбы, моллюсков, ракообразных, земноводных, пресмыкающихся и продуктов их переработки» (утверждена Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 2 декабря 2022 г.). [https://meganorm.ru/mega\\_doc/norm/metodicheskie-ukazaniya/0/muk\\_3\\_2\\_3804-22\\_3\\_2\\_profilaktika\\_parazitarnykh\\_bolezney.html?ysclid=m7yh74q8t850533598](https://meganorm.ru/mega_doc/norm/metodicheskie-ukazaniya/0/muk_3_2_3804-22_3_2_profilaktika_parazitarnykh_bolezney.html?ysclid=m7yh74q8t850533598) [MUK 3.2.3804-22 “Methods of sanitary and parasitological examination of fish, mollusks, crustaceans, amphibians, reptiles and products of their processing” (approved by the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare on December 2, 2022)]
- Пельгунов А.Н. 2010. Возрастная динамика зараженности карловых рыб метацеркариями *Opisthorchis felineus* (Rivolta, 1884). Теория и практика паразитарных болезней животных 2: 356–359. [Pelgunov A.N. 2010. Age dynamics of infection rates of metacercaria *Opisthorchis felineus* (Rivolta, 1884) in Cyprinids. Theory and practice of parasitic diseases of animals 2: 356–359. (in Russian)]. <https://cyberleninka.ru/article/n/vozrastnaya-dinamika-zarazhennosti-karpovyh-ryb-metatserkariyami-opisthorchis-felineus-rivolta-1884?ysclid=m3zhm1h0gy820708764>
- Пельгунов А.Н. 2012. Проблемы описторхоза и дифиллоботриоза в нижнем течении Иртыша. Российский паразитологический журнал 3: 68–73. [Pelgunov A.N. 2012 Problems of opistorchosis and diphyllobothriosis in the lower reach of the Irtysh river. Russian Journal of Parasitology 3: 68–73. (in Russian)]. <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-opistorhoza-i-difillobotrioza-v-nizhnem-techenii-irtysha?ysclid=m3zn0oeycn975141718>
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М., Пищевая промышленность, 377 с. [Pravdin I.F. 1966. Guide to the Study of Fish. M, Pishchevaya promyshlennost', 377 pp.]
- Сербина Е.А. 2012. Биологическое значение сезонности эмиссии церкарий третматод семейств Opisthorchiidae и Echinocochasmidae в экосистемах юга Западной Сибири. Российский паразитологический журнал 3: 28–34. [Biological value of seasonal cercarial emission of trematodes families Opisthorchiidae and Echinocochasmidae from ecosystems. Russian Journal of Parasitology 3: 28–34. (in Russian)]. <https://cyberleninka.ru/article/n/biologicheskoe-znachenie-sezonnosti-emissii-tserkariy-trematod-semeystv-opisthorchiidae-i-echinocochasmidae-v-ekosistemah-yuga-zapadnoy?ysclid=m3zmwc10r4159589432>
- Скареднов Н.И., Филиатов В.Г., Фаттахов Р.Г. 1984. Зависимость пораженности рыб метацеркариями *Opisthorchis felineus* (Riv. 1884) от гидрорежима рек Обь-Иртышского бассейна. В кн. Размашкин Д.А. (ред.). Болезни и паразиты рыб водоемов Западной Сибири. Ленинград, Промрыбвод, 56–65. Skarednov N.I., Filatov V.G., Fattakhov R.G. 1984. Dependence of fish infestation with metacercariae of *Opisthorchis felineus* (Riv. 1884) on the hydroregime of the rivers of the Ob-Irtysh basin. In: Razmashkin D.A. (eds). Diseases and parasites of fishes of water bodies of Western Siberia. Leningrad, Promrybvod, 56–65. (in Russian)].
- Соусь С.М. 1990. Временное распределение паразитов рыб в регressiveную фазу увлажнения (на примере карася золотого оз. Кротовая Ляга). Известия СО АН СССР. Серия Биология 1: 56–65. [Souss S.M. 1990. Temporal distribution of fish parasites in the regressive phase of wetting (on the example of golden crucian of Lake Krotovaya Lyaga). Izvestiya SB AS USSR. Series Biology 1: 56–65. (in Russian)].

- Соусь С.М. 2006. Влияние экологических факторов на зараженность рыб и моллюсков trematodами сем. Opisthorchiidae в оз. Кротовая Ляга. Медицинская Паразитология 1: 41–44. [Saus S.M. 2006. Influence of environmental factors on the infestation of fish and mollusks by trematodes of the family Opisthorchiidae in Lake Krotovaya Lyaga. Medical Parasitology 1: 41–44. (in Russian)].
- Урбах В.Ю. 1975. Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. М., Медицина, 295 с. [Urbach V.Y. 1975. Statistical analysis in biological and medical research. Moscow, Medicine, 295 pp. (in Russian)].
- Ушаков А.В., Фаттахов Р.Г., Степанова Т.Ф., Ожирельев В.В. 2017. Инвазированность рыб семейства cyprinidae метацеркариями *Opisthorchis felineus* в пойменно-речной экосистеме реки Ишим на территории Тюменской области. Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями 18 : 510–512. [Ushakov A.V., Fattakhov R.G., Stepanova T.F., Ozhireliev V.V. 2017. Infection of fish attributed to family Cyprinidae by *Opisthorchis felineus* metacercariae in floodplain-river ecosystem of the Ishim River in the Tyumen region. Theory and practice of parasitic diseases control 18: 510–512. (in Russian)]. <https://cyberleninka.ru/article/n/invazirovannost-ryb-semeystva-cyprinidae-metatserkariami-opisthorchis-felineus-v-poymenno-rechnoy-ekosisteme-reki-ishim-na-territorii?ysclid=m3zor63p7z786924967>
- Фаттахов Р.Г. 2012. Шарафутдинова Т.В. Зараженность рыб сем. Cyprinidae личинками *Opisthorchis felineus* (Rivolta, 1884) в водоемах различного типа на территории Среднего Приобья. Медицинская наука и образование Урала, 13, 4(72): 147–149. [Fattakhov R.G., Sharaphutdinova T.V. 2012. Contamination of Cyprinidae family fish with *Opisthorchis felineus* larvae (Rivolta, 1884) in reservoirs of various type in the territory of Middle Priob'ye. Medical Science and Education of the Ural, 13, 4(72): 147–149. (in Russian)].
- Федоров К.П. 1979. Экология описторхид Новосибирской области. В кн.: Судариков В.Е. (ред.). Экология и морфология гельминтов Западной Сибири. Новосибирск, Наука, 5–55. [Fedorov K.P. 1979. Ecology of opisthorchids of the Novosibirsk region. In: Sudarikov V.E. (ed.). Ecology and morphology of helminths of Western Siberia. Novosibirsk, Nauka, 5–55. (in Russian)].
- Ядренкина Е.Н. 2010. Заморные водоемы Западной Сибири как среда обитания рыб. В кн.: Равкин Ю.С. (ред.). Биоразнообразие Карасукско-Бурлинского региона (Западная Сибирь). Новосибирск, Издательство Сибирского отделения Российской академии наук, 86–87. [Yadrenkina E.N. 2010. Suffocated water bodies of Western Siberia as fish habitat. In: Ravkin Y.S. (eds). Biodiversity of the Karasuk-Burlin region (Western Siberia). Novosibirsk, Publishing house of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86–87. (in Russian)].
- Ядренкина Е.Н., Ядрёнкин А.В. 2023. Миграционная активность рыб – механизм реализации жизненного цикла в заморном оз. Чаны (Западная Сибирь). В кн.: Воробьев Д.С., Романов В.И. (ред.). Вопросы экологии водоемов и интенсификации рыбного хозяйства Сибири. Томск, Издательство Томского государственного университета, 128–136. [Yadrenkina E.N., Yadrenkin A.V. 2023. Fish migration activity as mechanism of life cycle realization in the Chany Lake (Western Siberia). In Vorobyev D.S., Romanov V.I. (eds). Questions of ecology of water bodies and intensification of fishery in Siberia. Tomsk, Tomsk State University Publishing House, 128–136. (in Russian)].
- Chabb J.C. 1979. Seasonal occurrence of helminthes in freshwater fishes. Parasitology 17: 141–313.
- Fedorova O.S., Fedotova M.M., Sokolova T.S., Golovach E.A., Kovshirina A.E., Konovalova U.V., Kolomeets I.L., Ogorodova L.M., Zvonareva O.I., Gutor S.S., Petrov V.A., Mazeina S.V., Kovshirina Y.V., Hattendorf J., Odermatt P. 2020. *Opisthorchis felineus* infection, risks, and morbidity in rural Western Siberia, Russian Federation. PLoS Neglected Tropical Diseases 14(6): 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008421>
- Karpenko S.V., Chechulin A.I., Yurlova N.I., Serbina E.A., Vodyanitskay S.N., Krivopalov A.V., Fedorov K.P. 2008. Characteristics of opisthorchiasis foci in southern West Siberia. Contemporary Problems of Ecology 1(5): 517–521.
- Kiyan V.S., Bulashev A.K., Katokhin A.V. 2018. *Opisthorchis felineus* and *Metorchis bilis* metacercariae in cyprinid fish *Leuciscus idus* in Nura-Sarysu river, Kazakhstan. Korean Journal of Parasitology 56(3): 267–274. <https://doi.org/10.3347/kjp.2018.56.3.267>
- Lemly A.D. 1996. Winter stress syndrome. Ecotoxicology and Environmental Safety 34(3): 223–227. Serbina E.A. 2020. Annual life cycle of *Bithynia troscheli* in the south of Western Siberia. Proceedings of the International Conference “Process Management and Scientific Developments”, Birmingham, United Kingdom, 14 October 2020. Scientific publishing house Infinity, 120–128. <https://doi.org/10.34660/INF.2020.89.48.018>
- Yadrenkina E.N. 2010. Migration behavior of fish in an oxygen-deficient water body (Lake Chany, West Siberia). Papers of Conference “Fish behavior”, 19–21 October 2010, Borok, Russia. Moscow, AQUAROS Publishing House, 453–459.

Yurlova N.I., Yadrenkina E.N., Rastyazhenko N.M., Serbina E.A., Glupov V.V. 2017. Opisthorchiasis in Western Siberia: Epidemiology and distribution in human, fish, snail, and animal populations. Parasitology International 66(4): 355–364. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2016.11.017>

## SEASONAL DYNAMICS OF INFECTION OF THE IDE *LEUCISCUS IDUS* WITH METACERCARIAE OF TREMATODES OF THE FAMILY OPISTHORCHIIDAE AND ITS RELATION WITH WATER LEVEL FLUCTUATION

E. N. Yadrenkina, A. V. Katokhin

**Keywords:** Trematoda, Cyprinidae, infestation abundance, infestation rate, Ob' River, Western Siberia

### SUMMARY

The seasonal variability of the infection of the ide *Leuciscus idus* with metacercariae of the Opisthorchidae family in the Upper Ob basin was studied. Seasonal indices of the extensiveness of invasion (EI) varied significantly – from 18 to 72%, but average annual values were proportionate, staying within 43–46%. A trend of decreasing in the intensity of invasion in spring months compared to the summer-autumn period by an average of 20% for all years of the study (2012–2016) is evident. A negative correlation between the intensity of invasion (II) of fish and the water level during the cercariae emission period,  $r = -0.83$  was found. Three main hypotheses were put forward to explain the decrease in fish invasion during the freeze-up period. The first two of them suggest a relatively high elimination of metacercariae in the winter months: either under the influence of low water temperature or hypoxia formed under the ice cover. The third of them is based on the assumption of the death of physiologically weakened infected fish as a result of hypothermia and asphyxia in wintering conditions.