

УДК 597.2/.5:591.67

СИБИРСКИЙ ЕЛЕЦ *LEUCISCUS BAICALENSIS* В ВОДОТОКАХ РАЗНОГО ПОРЯДКА БАСЕЙНА СРЕДНЕЙ ОБИ И ЕГО РОЛЬ В ЦИРКУЛЯЦИИ ОПИСТОРХОЗА

© 2021 г. И. Б. Бабкина¹, *, А. В. Симакова^{1, 2}, А. М. Бабкин¹, Е. А. Интересова¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа, Томск, Россия

*E-mail: bibspha@gmail.com

Поступила в редакцию 01.12.2020 г.

После доработки 18.02.2021 г.

Принята к публикации 18.02.2021 г.

Представлены результаты сравнительного анализа размерно-возрастного и полового состава ельца *Leuciscus baicalensis* из рек бассейна средней Оби (Басандайка – приток II порядка, Томь – приток I порядка, Обь – магистральный водоток) в 2016–2019 гг. Выявлены различия по показателям роста ельца в зависимости от типа водотока: чем крупнее река, тем выше темп роста особей. Половая структура во всех водотоках сходна, соотношение самок и самцов 1 : 2. Наиболее высокими показателями экстенсивности и интенсивности инвазии личинками *Opisthorchis felineus* (паразита гепатобилиарной системы человека и плотоядных животных) отличается елец из р. Томь – соответственно 88% и 13.1 экз/особь против 52% и 4.8 экз/особь у рыб из Оби. Заражённость не зависит от пола ельца. Показатели заражённости повышаются с возрастом рыб: экстенсивность инвазии рыб в 5-летнем возрасте достигает 100%. В настоящее время сохраняется напряжённая эпизоотологическая ситуация в связи с высокими показателями заражённости рыб.

Ключевые слова: сибирский елец *Leuciscus baicalensis*, размерно-возрастной и половой состав рыб, *Opisthorchis felineus*, экстенсивность и интенсивность инвазии, водотоки разного порядка, бассейн средней Оби.

DOI: 10.31857/S0042875221060047

Сибирский елец *Leuciscus baicalensis* широко распространён в Западной Сибири (ранее для этого региона его указывали как *L. leuciscus baicalensis* или *L. leuciscus*). Это преимущественно реофильный вид, многочисленный как в крупных, так и в малых водотоках, иногда обитает в проточных озёрах, в частности, в оз. Телецкое и некоторых крупных проточных озёрах поймы средней Оби (Кафанова, 1951; Гундризер и др., 1984; Попов, 2007). Елец требователен к газовому режиму реки, предпочитает участки с крупно-песчаным или каменисто-галечным грунтом. В бассейне средней Оби он имеет промысловое значение, является объектом спортивного и любительского рыболовства. По данным Верхнеобского территориального управления Росрыболовства, в 2009–2019 гг. объём вылова ельца составлял в среднем 109.3 (66.2–172.5) т; его доля в общем вылове – 4–9%, среди карповых рыб – 6–14%. В этой связи особую обеспокоенность вызывает его роль в поддержании очага опасных для человека трематодозов, в частности, описторхоза.

Елец является одним из основных носителей личинок кошачьей двуустки в самом крупном в мире Обь-Иртышском природном очаге описторхоза, вызываемого трематодами *Opisthorchis felineus*. Эти трематоды поражают гепатобилиарную систему человека и плотоядных животных, вызывая серьёзные заболевания (Lim, 2011; Thunyaharn et al., 2013; Федорова и др., 2016; Fedorova et al., 2017; Aksorn et al., 2018; Simakova et al., 2020). Сложный жизненный цикл кошачьей двуустки протекает с участием трёх хозяев: промежуточные моллюски (*Bithyniidae*) (первый промежуточный) → карповые рыбы (второй промежуточный) → человек и плотоядные животные (окончательный) (Беэр, 2005).

В структуре природного очага в пределах изучаемого бассейна можно выделить такие элементы, как ядро очага, участки выноса инфекции и свободные от возбудителя участки (Завойкин и др., 1979; Беэр, 2005). Нельзя рассматривать очаг только как место сохранения возбудителя: учитывая относительно малую подвижность моллюсков, эпизоотические ядра довольно стабиль-

ны в пространстве, в связи с этим особую важность приобретает такой признак поддержания очага, как циркуляция возбудителя вследствие миграционной активности рыб.

Исследования заражённости рыб метацеркариями *O. felineus* в бассейне средней Оби были начаты в 1936 г. Титовой (1965), затем продолжены Мясоедовым (1960) и Бочаровой (1976, 2007). Авторы установили, что заражённость локальных популяций ельца может достигать 100% с высокой интенсивностью инвазии до 50 и более метацеркариев на рыбу. Наиболее высокие значения заражённости в некоторых водоёмах, приближенных к густонаселённым пунктам, Бочарова (1976) объясняет большим количеством яиц описторхиса, попадающих с фекалиями в водотоки.

Елец не совершает длительных миграций и образует локальные популяции (Кафанова, 1951). В связи с этим уровень его заражённости личинками трематод в зависимости от условий обитания значительно варьирует. По степени заражённости можно судить о расположении источников загрязнения водоёмов инвазионным началом (яйцами описторхов). На крупных реках основными источниками инвазии служат недостаточно очищенные бытовые стоки городов. В малонаселённых районах очаги описторхоза могут поддерживать дикие звери (Беэр, 2005). Факт накопления метацеркарий в мышцах рыб с возрастом неоднократно отмечался в литературе (Беэр, 2005; Бочарова, 2007; Бабкин и др., 2019). Однако в разных водоёмах эффект накопления личинок в мышцах рыб с возрастом может проявляться по-разному. Для многих видов рыб характерно неодинаковое соотношение полов в популяции, поэтому важно оценить роль самцов и самок в эпидемиологии описторхоза. При довольно хорошей изученности структуры популяции ельца в бассейне средней Оби (Кафанова, 1951) и его заражённости личинками кошачьей двуустки (Бочарова, 2007) взаимосвязь уровня заражённости с размером, возрастом и полом особей ельца до настоящего времени не исследовали.

Цель работы – провести сравнительный анализ заражённости ельца в водотоках разного порядка с учётом размера, возраста и пола особей, а также оценить современную ситуацию с заражённостью ельца личинками *Opisthorchis felineus*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал для исследования собран в 2016–2019 гг. в трёх водотоках: р. Басандайка – приток II порядка (район пос. Аникино, 56°24'41" с.ш. 84°58'51" в.д.), р. Томь – приток I порядка (в черте г. Томск, 56°27'45" с.ш., 84°55'48" в.д.) и собственно в Оби – основной магистральный водо-

ток (район дер. Старая Шегарка, 56°32'50" с.ш. 84°09'36" в.д.).

Обь – магистральный водоток Западной Сибири. Её длина 3650 км, площадь бассейна – 2990 тыс. км². Для среднего течения Оби характерна широкая пойма и разделение русла на протоки. Общее число водотоков бассейна средней Оби составляет 9016 общей протяжённостью 79385 км. В районе сбора проб р. Обь имеет две протоки и острова; ширина поймы ~ 2.5 км, русла – 0.8 км; берега пологие; имеются заводи, заросшие высшей водной растительностью; глубина русла в межень составляет 5–10 м, грунты преимущественно песчано-галечные.

Томь – крупнейший правый приток средней Оби I порядка. Её длина 827 км, площадь бассейна – 62030 км². В районе сбора материала река имеет равнинный характер; ширина поймы ~ 0.9 км, русла – 0.6 км; левый берег пологий, правый местами крутой; имеются заводи, незначительно заросшие высшей водной растительностью; глубина русла в межень составляет 3–5 м, имеются каменистые перекаты, грунты преимущественно песчано-галечные.

Басандайка – правый приток Томи. Её длина 57 км, площадь бассейна – 409 км². В районе сбора материала ширина поймы ~ 35 м, русла – 5–10 м; берега пологие; имеются заводи, заросшие высшей водной растительностью; глубина русла в межень составляет 0.5–1.5 м, грунты преимущественно каменисто-галечные, местами заилены.

Рыб отлавливали ставными сетями (размер ячеи 14 и 22 мм, длина 35 м). В ходе биологического анализа измеряли общую (*TL*) и стандартную (*SL*) длину, определяли массу, а также возраст по чешуе (Правдин, 1966). Заражённость рыб метацеркариями кошачьей двуустки исследовали общепринятым компрессорным методом, мышцы рыб просматривали полностью с обеих сторон тела (Бауэр и др., 1981; Беэр, 2005). Идентификацию метацеркарий описторхид проводили способом прижизненной дифференциальной диагностики (Воронин и др., 2019). Определяли экстенсивность инвазии – долю заражённых рыб от общего числа исследованных (*ЭИ*, %) – и интенсивность инвазии – число метацеркарий, обнаруженных у заражённых рыб (*ИИ*, экз/особь). Всего проанализировали 735 экз. ельца.

Статистический анализ проведён с использованием программной среды R 4.0.2 (R Core Team, 2020). При сравнении зависимостей длина–масса ельца из разных водотоков использован ANOVA из пакета *car* (Fox, Weisberg, 2019). Для выявления возрастных и половых различий использованы непараметрические критерии: коэффициент ранговой корреляции Спирмена и тест Краскела–Уоллиса (Лакин, 1990; Zar, 2010).

Таблица 1. Параметры степенной зависимости длина–масса сибирского ельца *Leuciscus baicalensis* из исследованных водотоков бассейна средней Оби

Река	<i>n</i>	Масса, г	Длина (<i>SL</i>), см	$a \pm CI_{95\%}$	$b \pm CI_{95\%}$	R^2
Басандайка	142	19.5 (6–62)	10.8 (8.0–16.2)	0.0146 ± 0.005	2.99 ± 0.19	0.87
Томь	530	35.5 (6–126)	12.9 (7.8–19.5)	0.0091 ± 0.002	3.18 ± 0.07	0.95
Обь	63	33.6 (9–133)	11.9 (8.3–18.6)	0.0128 ± 0.005	3.11 ± 0.14	0.97

Примечание. Здесь и в табл. 2: *n* – число рыб; $CI_{95\%}$ – доверительный интервал; за скобками – среднее значение, в скобках – пределы варьирования показателя.

Таблица 2. Соотношение между общей (*TL*) и стандартной (*SL*) длиной сибирского ельца *Leuciscus baicalensis* из водотоков бассейна средней Оби

Река	<i>n</i>	Длина, см		$a \pm CI_{95\%}$	$b \pm CI_{95\%}$	R^2
		<i>TL</i>	<i>SL</i>			
Басандайка	142	13.1 (10.0–18.8)	10.8 (8.0–16.2)	1.56 ± 0.51	1.07 ± 0.05	0.94
Томь	530	15.6 (9.6–23.5)	12.9 (7.8–19.5)	0.07 ± 0.19	1.21 ± 0.02	0.98
Обь	63	14.5 (10.0–22.1)	11.9 (8.3–18.6)	0.36 ± 0.46	1.19 ± 0.04	0.98

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В наших сборах отмечен елец в возрасте 1+–6+. В р. Басандайка максимальный возраст составил 4+, доминировали трёхлетние особи (72%). В р. Томь встречались все возрастные группы, доминирующие – 1+–3+ (80%). В р. Обь так же преобладали рыбы в возрасте от 1+ до 3+ (98%). Во всех реках самцы преобладали над самками (2 : 1).

Между особями в возрасте 1+ из водотоков разного порядка выраженные отличия по длине (рис. 1а–1в) и массе (1г–1е) не выявлены, в то время как с увеличением возраста различия становятся значимыми. В р. Басандайка наблюдается замедленный рост ельца в сравнении с особями из рек Томь и Обь; в Оби темп роста ельца выше, чем в притоках. Средние приросты длины рыб в р. Басандайка составили 11.7, в р. Томь – 20.9, в р. Обь – 26.4 мм в год.

Связь между массой (*W*, г) и длиной (*SL*, см) ельца описывается уравнением степенной зависимости: $W = aSL^b$ (табл. 1). Изученные выборки значимо различаются по величине как коэффициента *a*, так и углового коэффициента *b* линейного уравнения $Lg W = Lga + bLg SL$ (ANOVA: $R^2 = 0.95$, $F = 4596$, $p < 2.2e-16$), что может свидетельствовать о наличии локальных группировок ельца в разных водотоках и зависимости темпа роста от условий обитания.

Соотношение между общей и стандартной длиной особей ельца описывается уравнением: $TL = a + bSL$, параметры которого для каждого водотока приведены в табл. 2.

Во всех водотоках степень заражённости ельца повышается с возрастом рыб (табл. 3). Эта зако-

номерность наиболее явно проявляется у ельца из р. Томь. Так, среднее значение ИИ у рыб в возрасте 6+ в 4.9 раза больше, чем в возрасте 1+ (29.6 против 6.1 экз/особь). Однако единично встречались рыбы с очень высокой степенью заражённости, в том числе и в младших возрастных группах. Отмечен 1 экз. в возрасте 1+ с 302 метацеркариями, и в возрасте 4+ с 231 метацеркарией.

В реках Басандайка и Обь пределы варьирования ИИ не столь велики, а максимальные значения существенно меньше – соответственно 68 и 21 экз/особь.

В соответствии с возрастной зависимостью ИИ возрастает с увеличением размеров рыб. В р. Басандайка коэффициент корреляции с длиной (*SL*) составил 0.23, в р. Томь с длиной – 0.47, с массой – 0.48, в р. Обь – соответственно 0.36 и 0.35 ($p < 0.05$).

Показатель ЭИ популяций ельца в разных водотоках также повышается с возрастом и в старших возрастных группах достигает 100% (табл. 3). Следует отметить, что у ельца младших возрастных групп в Басандайке и Оби значения ЭИ существенно ниже, чем в р. Томь: например, у двухлеток (1+) – 28 и 50 против 85%. По данным Бочаровой (2007), в 2003 г. р. Томь в окрестностях Томска заражённость увеличивалась с 19.9% у сеголеток до 98.8% у рыб в возрасте 4+.

Заражённость ельца метацеркариями *O. felineus* в р. Томь значительно возросла по сравнению с 1960–1970-ми гг. и по сей день остаётся на довольно высоком уровне (рис. 2). Снижение ЭИ в 2018–2019 гг. можно объяснить возрастным составом выборок, ограниченным 5-летними особями, и малой долей рыб старшего возраста. Межгодовые колебания показателей заражённо-

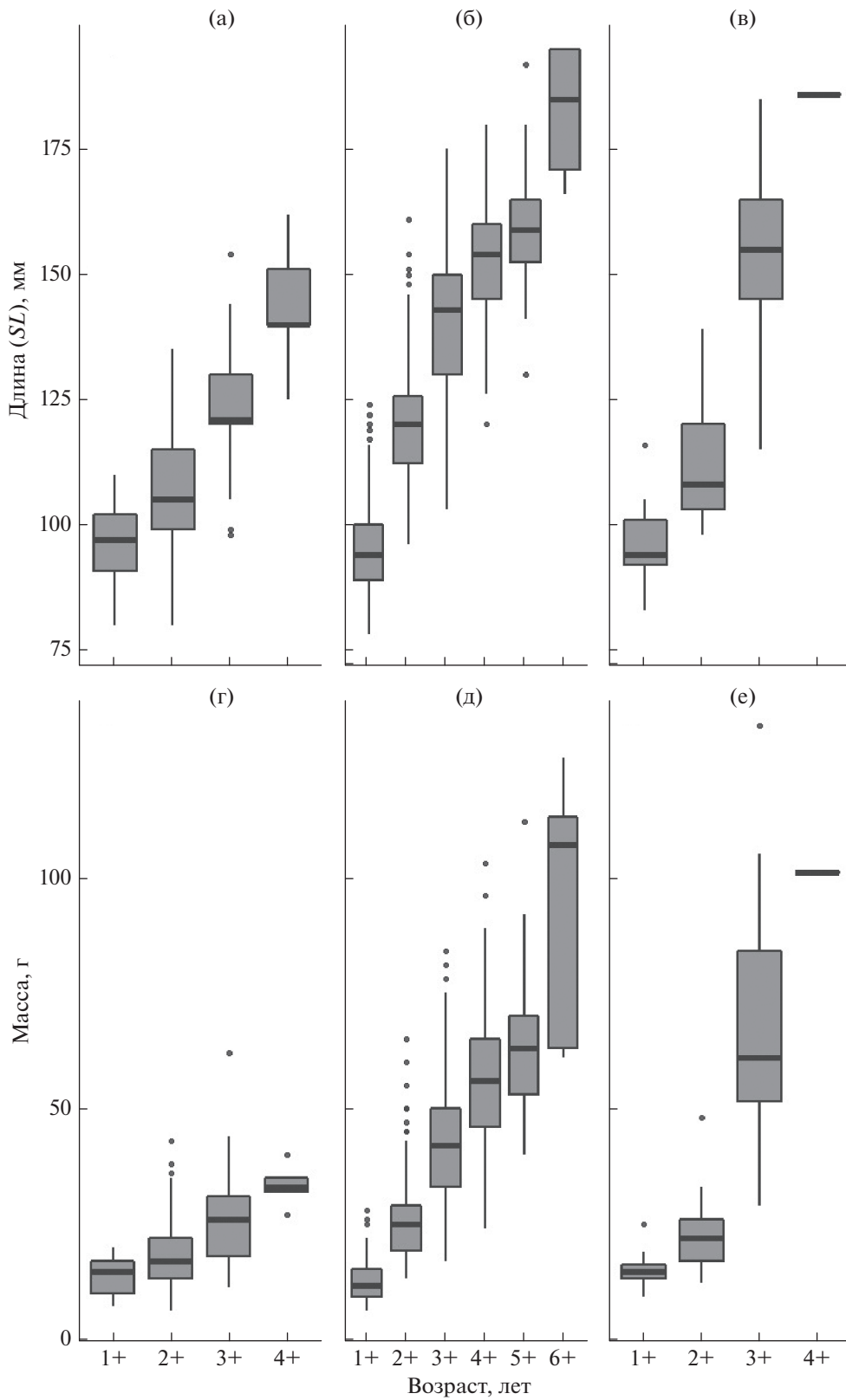


Рис. 1. Длина (а–в) и масса (г–е) особей сибирского ельца *Leuciscus baicalensis* разного возраста в реках Басандайка (а, г), Томь (б, д) и Обь (в, е) бассейна средней Оби (2016–2019 гг.). Каждый бокс включает три горизонтальные линии, которые обозначают 25, 50 (медиана) и 75% данных (от 25 до 75% данных заключены в прямоугольник); верхний “ус” от первого квартиля до максимального значения, не далее $1.5 \times IQR$ (IQR – интерквартильный размах); нижний от третьего квартиля до наименьшего значения, не более $1.5 \times IQR$ данных; (●) – значения за пределами $\pm 1.5 \times IQR$.

Таблица 3. Показатели заражённости разных возрастных групп сибирского ельца *Leuciscus baicalensis* личинками трематод *Opisthorchis felineus* в разных водотоках бассейна средней Оби в 2016–2019 гг.

Возраст, лет	Р. Басандайка			Р. Томь			Р. Обь		
	ЭИ, %	ИИ, экз/особь	n, экз.	ЭИ, %	ИИ, экз/особь	n, экз.	ЭИ, %	ИИ, экз/особь	n, экз.
1+	27.7	$\frac{1.8 \pm 0.58}{1-4}$	18	85.1	$\frac{9.8 \pm 4.04}{1-302}$	94	50.0	$\frac{1.6 \pm 0.4}{1-4}$	20
2+	76.5	$\frac{7.1 \pm 1.33}{1-68}$	102	82.6	$\frac{7.3 \pm 0.75}{1-58}$	178	40.0	$\frac{5.9 \pm 1.97}{1-21}$	25
3+	47.1	$\frac{5.1 \pm 1.17}{2-11}$	17	90.3	$\frac{14.1 \pm 1.34}{1-111}$	154	70.5	$\frac{6.6 \pm 1.71}{1-20}$	17
4+	100.0	$\frac{5.2 \pm 1.83}{1-12}$	5	93.8	$\frac{22.9 \pm 4.39}{2-231}$	65	100.0	4	1
5+				100.0	$\frac{22.5 \pm 4.68}{2-137}$	34			
6+				100.0	$\frac{29.6 \pm 17.45}{2-97}$	5			
В среднем	67.6	$\frac{6.5 \pm 1.09}{1-68}$	96/142	87.9	$\frac{13.1 \pm 1.11}{1-302}$	466/530	52.4	$\frac{4.8 \pm 0.93}{1-21}$	33/63

Примечание. ЭИ – экстенсивность инвазии, ИИ – интенсивность инвазии, n – число рыб (до косой черты – заражённые, после черты – общее число исследованных); над чертой – среднее значение и стандартная ошибка, под чертой – пределы варьирования показателя.

сти могут быть обусловлены такими факторами, как уровень паводковых вод, численность битинид (первых промежуточных хозяев кошачьей двуустки), возрастная структура популяций рыб и другие.

Ни в одном из водотоков значимые различия между самцами и самками ни по темпу роста, ни по показателям заражённости метацеркариями *O. felineus* не выявлены.

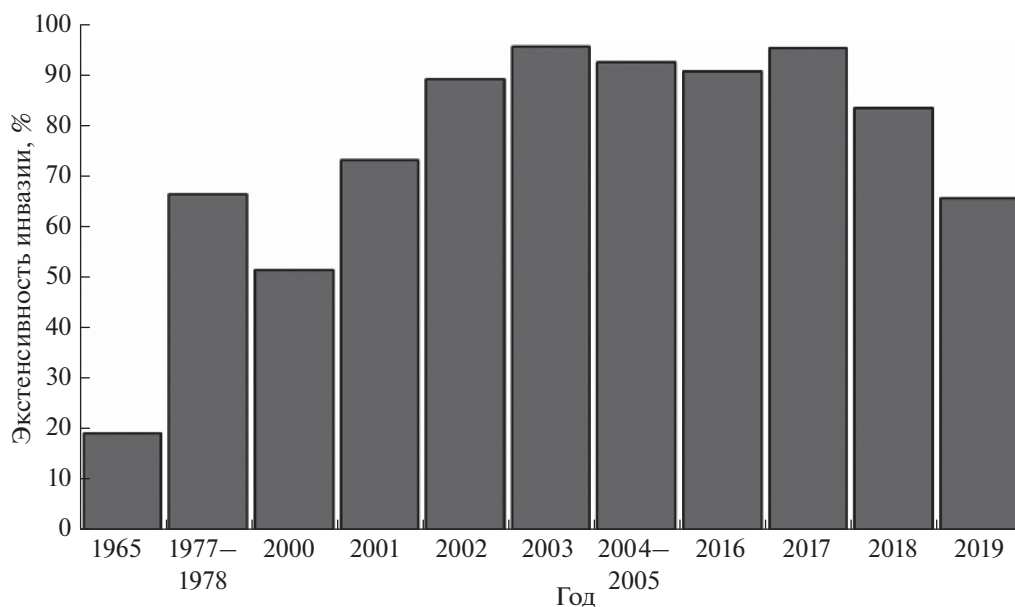


Рис. 2. Экстенсивность инвазии сибирского ельца *Leuciscus baicalensis* р. Томь метацеркариями *Opisthorchis felineus*: 1965 г. – среднее значение за ряд лет, по данным Титовой (1965); 1977–2005 гг. – данные Бочаровой (2007); 2016–2019 гг. – наши данные.

В целом в 2016–2019 гг. показатели ЭИ и ИИ ельца личинками кошачьей двуустки в бассейне средней Оби высокие. Наиболее заражённым является елец из р. Томь, в меньшей степени – рыбы из магистрального водотока (табл. 3), что может свидетельствовать о мозаичной структуре природной очаговости.

Таким образом, результаты проведённого исследования показали, что половой и возрастной состав популяций ельца в рассматриваемых водотоках в целом сходный, однако выявлены значимые различия по темпу роста: чем крупнее река, тем он выше. Во всех водотоках показатели заражённости увеличиваются с возрастом и размерами рыб. Различия между самцами и самками ни по одному из анализируемых показателей не выявлены. Наибольшие значения ЭИ и ИИ отмечены в р. Томь; показатели заражённости в реках Басандайка и Обь ниже и сопоставимы между собой. Это может быть связано с тем, что в р. Томь ельца отловили в черте г. Томск, где высокая численность населения; тогда как в реках Обь и Басандайка ельцы были выловлены в районе населённых пунктов с низкой численностью населения. Несмотря на это, во всех водотоках показатели заражённости ельца личинками *O. felinus* высокие – достигают 100% в пятилетнем возрасте. Следовательно, в настоящее время сохраняется напряжённая эпизоотологическая ситуация, поскольку елец играет одну из ключевых ролей в поддержании крупнейшего в мире природного очага описторхоза в Обском бассейне, вызываемого кошачьей двуусткой.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки России № 0721-2020-0019 и поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 20-34-90055А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабкин А.М., Ходкевич Н.Е., Беляева А.А. и др. 2019. Зараженность ельца личинками *Opisthorchis felinus* в разных водотоках бассейна Средней Оби // Матер. VI Межрегион. науч. конф. паразитологов Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск. С. 19–22.

Бауэр О.Н., Мусселиус В.А., Стрелков Ю.А. 1981. Болезни прудовых рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 320 с.

Безр С.А. 2005. Биология возбудителя описторхоза. М.: Т-во науч. изд. КМК, 336 с.

Бочарова Т.А. 1976. Очаги описторхоза в северных районах Томской области // Болезни и паразиты рыб Ледовитоморской провинции (в пределах СССР). Свердловск: Средне-Уральское книж. изд-во. С. 130–135.

Бочарова Т.А. 2007. Возбудитель описторхоза и другие мышечные паразиты карповых рыб бассейна нижней Томи. Томск: Изд-во ТГУ, 66 с.

Воронин В.Н., Кудрявцева Т.М., Кузнецова Е.В. и др. 2019. Способ прижизненной дифференциальной диагностики метацеркарий описторхид: Патент на изобретение RU 2708990 С1. Бюл. № 35. Номер заявки 2018144035.

Гундризер А.Н., Иоганзен Б.Г., Кривошеков Г.М. 1984. Рыбы Западной Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 120 с.

Завойкин В.Д., Новосельцев Г.И., Плющева Г.Л., Бочарова Т.А. 1979. Сравнительная описторхозная ситуация на крупнейших притоках Оби. Описторхоз на Кети и Чулыме // Мед. паразитол. и паразитар. болезни. № 2. С. 20–25.

Кафанова В.В. 1951. Биология и промысел ельца в водоемах Томской области // Тр. ТГУ. Т. 115. С. 51–69.

Лакин Г.Ф. 1990. Биометрия. М.: Высш. шк., 352 с.

Мясоедов В.С. 1960. Эпидемиология описторхоза. Томск: Изд-во ТГУ, 99 с.

Попов П.А. 2007. Рыбы Сибири: распространение, экология, вылов. Новосибирск: Изд-во НовосибирГУ, 526 с.

Правдин И. Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 376 с.

Титова С.Д. 1965. Паразиты рыб Западной Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 172 с.

Федорова О.С., Ковширина Ю.В., Ковширина А.Е. и др. 2016. Анализ заболеваемости инвазией *Opisthorchis felinus* и злокачественными новообразованиями гепатобилиарной системы в Российской Федерации // Бюл. сиб. медицины. №15 (5) С. 147–158. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2016-5-147-158>

Aksorn N., Roytrakul S., Kittisenachai S. et al. 2018. Novel potential biomarkers for *Opisthorchis viverrini* infection and associated cholangiocarcinoma // In vivo. V. 32. № 4. P. 871–878. <https://doi.org/10.21873/invivo.11321>

Fedorova O.S., Kovshirina Y.V., Kovshirina A.E. et al. 2017. *Opisthorchis felinus* infection and cholangiocarcinoma in the Russian Federation: A review of medical statistics // Parasitol. Int. V. 66. № 4. P. 365–371. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2016.07.010>

Fox J., Weisberg S. 2019. An R companion to applied regression. (<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>)

Lim J.H. 2011. Liver flukes: the malady neglected // Korean J. Radiol. V. 12. P. 269–279. <https://doi.org/10.3348/kjr.2011.12.3.269>

R Core Team. 2020. R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. (<https://www.R-project.org/>)

Simakova A.V., Poltoratskaya N.V., Babkina I.B. et al. 2020. The World largest focus of the opisthorchiasis in the Ob-Irtysh BASIN, Russia, caused by *Opisthorchis felinus* // Parasitic flukes. IntechOpen. 24 p. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91634>.

Thunyaharn N., Promthet S., Wiangnon S. et al. 2013. Survival of cholangiocarcinoma patients in northeastern Thailand after supportive treatment // Asian Pac. J. Cancer Prev. V. 14. № 11. P. 7029–7032. <https://doi.org/10.7314/apjcp.2012.14.11.7029>

Zar J.H. 2010. Biostatistical analysis. New Jersey: Pearson Prentice-Hall, 944 p.