

# Изменение поведения хозяев под влиянием паразитов

**Ф.И. Василевич**, доктор ветеринарных наук, Заслуженный работник высшей школы, академик РАН, профессор Кафедры паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы.

**ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина» (109472, РФ, Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23).**

*Имеется множество примеров, демонстрирующих изменение поведения хозяев под воздействием паразитов. В одних случаях наблюдаемые изменения поведения — побочный эффект патологии, вызванной присутствием паразита. В других случаях изменения поведения хозяев представляют собой направленные, эволюционно закрепленные механизмы выживания паразита, появившиеся в процессе тесной взаимной адаптации членов паразитарной системы. Такие механизмы увеличивают вероятность передачи патогена между разными хозяевами и успешного завершения жизненного цикла паразита.*

*В статье рассмотрено влияние различных паразитов на промежуточных и дефинитивных хозяев.*

**Ключевые слова:** паразиты, промежуточные хозяева, дефинитивные хозяева, направленная манипуляция паразитом поведения и физиологии хозяина.

## Changing the behavior of hosts under the influence of parasites

**F.I. Vasilevich**, Grand PhD in Veterinary Sciences, Honored Worker of Higher Education, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Parasitology and Veterinary Sanitary Expertise.

**Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Scriabin (109472, Russia, Moscow, Akademika Skryabin str., 23);**

*There are many examples demonstrating the change in behavior of hosts under the influence of parasites. In some cases, the observed changes in behavior are a side effect of the pathology caused by the presence of the parasite. In other cases, the changes in behavior of hosts are directed, evolutionarily fixed mechanisms of survival of the parasite, which appeared in the process of close mutual adaptation of members of the parasitic system. Such mechanisms increase the probability of transmission of the pathogen between different hosts and successful completion of the life cycle of the parasite.*

*The article discusses the influence of various parasites on intermediate and definitive hosts.*

**Keywords:** parasites, intermediate hosts, definitive hosts, directed manipulation of host behavior and physiology by parasites

### Введение

Многие паразиты имеют сложные циклы развития, включающие в себя разные стадии и разных хозяев. Выживание паразита как вида зависит от его последовательного попадания в организмы разных хозяев. Только так возможно завершение жизненного цикла и продолжение существования вида паразита.

Имеется множество примеров, демонстрирующих изменение поведения хозяев под воздействием паразитов. В одних случаях наблюдаемые изменения поведения — побочный эффект патологии, вызванной присутствием паразита. В других случаях изменения поведения хозяев представляют собой направленные, эволюционно закрепленные механизмы выживания паразита, появившиеся в процессе тесной взаимной адаптации членов паразитарной системы. Такие механизмы увеличивают вероятность передачи патогена между разными

хозяевами и успешного завершения жизненного цикла паразита [1, 9...11, 17, 18].

Гипотеза направленной манипуляции паразитом поведением и физиологией хозяина известна и имеет много примеров. С эволюционной точки зрения эти изменения обычно рассматриваются как концепция расширенного фенотипа, согласно которой, гены одного организма (паразита) способны вызывать фенотипический ответ в другом организме (хозяине). Впервые понятие «расширенный фенотип» в научный обиход ввел Р. Докинс (Dawkins) в 1982 году. Суть этого феномена в том, что гены одного организма в определенных условиях способны индуцировать некие реакции другого организма, например, изменять поведение последнего. Несмотря на относительную давность использования в науке положений расширенного фенотипа, отечественным исследователям данный подход практически неизвестен [7, 16].

## Направленная модуляция поведения хозяев

В большинстве случаев воздействие личинок гельминтов ориентировано на изменение поведения потенциальной жертвы дефинитивного хозяина. Первые опыты, в которых было показано реальное воздействие паразита на хозяина, провела в 80-е годы Дженнис Мур в Колорадо [13]. В качестве подопытных она выбрала акантоцефал (скребней) — паразитов кишечника скворцов и их промежуточных хозяев мокриц, обитающих в лесной подстилке.

Автор соорудила камеры для наблюдения за поведением зараженных акантеллами (личинками скребней) мокриц и изучила, как мокрица реагирует на влажность воздуха, освещенность и нахождение на открытом воздухе. После серии экспериментов мокрицы были вскрыты и обследованы на наличие акантелл. В природе мокрицы живут во влажной лесной почве, где прячутся от птиц. В почве их привлекает влажность, сумрак и темные цвета. Не зараженные акантеллами мокрицы в лабораторных условиях вели себя так же: они заползали во влажный грунт в отсеке, избегали сухого воздуха и света, всегда выбирали темный цвет. Мокрицы — носители акантелл — предпочитали сухую и светлую часть домика и там находились длительное время.

Таким образом, зараженные личинками скребней мокрицы теряют способность реагировать на жизненно важные сигналы и превращаются в легкую добычу для птиц (рис. 1).

Имеются примеры модификации поведения ракообразных *Gammarus lacustis* под влиянием заражения скребнем *Polymorphus paradoxus*. Не зараженные акантеллами гаммарусы имеют отрицательный фототаксис и поселяются на неосвещенных участках дна водоема. Зараженные личинками скребня гаммарусы изменяют отрицательный фототаксис на положительный, выплывают на освещенные участки дна водоема и становятся легкой

добычей нырковых уток — дефинитивных хозяев *P. paradoxus* [10, 11, 13], вызывая у уток полиморфоз.

Среди разных сценариев изменения паразитом поведения хозяев наиболее простой — это увеличение частоты контакта между зараженным и восприимчивым хозяином. Добиться этой цели можно, изменив поведение насекомого — переносчика трансмиссивных болезней, промежуточного хозяина гельминтов в сторону их большей доступности для хищника — окончательного хозяина или изменив поведение моллюска — хозяина размножающихся бесполом путем плоских гельминтов. В обоих случаях результатом модулирования поведения должно стать увеличение репродукции паразита даже при возможном сокращении (из-за гибели) числа хозяев, необходимых для поддержания паразитарного цикла [1, 4, 10, 11, 16].

## Паразиты, изменяющие поведение хозяев

**Дикроцелиоз.** Возбудитель дикроцелиоза трематода *Dicrocoelium lanceatum* паразитирует в печени жвачных. Яйца гельминта выделяются с фекалиями и поедаются наземными улитками [1, 4] — первым промежуточным хозяином. В улитках проходит несколько стадий развития паразита и на завершающей стадии церкарии выделяются со слизью во внешнюю среду, и их заглатывает второй промежуточный хозяин — муравей. В организме муравья церкарии через стенку кишечника проникают в брюшную полость и там инцистируются, превращаясь в инвазионные личинки — метацеркарии. Однако некоторые церкарии мигрируют в голову насекомого, где инкапсулируются в субэзофагальном первичном ганглии, вызывая изменение поведения. Такие муравьи вечером не возвращаются в муравейник, а забираются на вершину травинки, впиваются в нее челюстями и замирают до восхода солнца, становясь добычей жвачных,

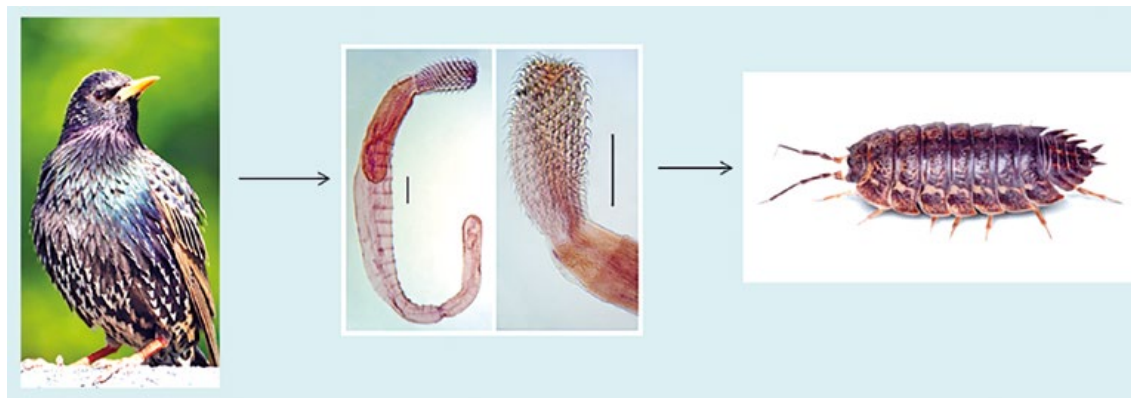


Рис. 1. Объекты опыта Дж. Мур: скворец (дефинитивный хозяин скребня), акантелла (личинка скребня), мокрица (промежуточный хозяин скребня)

Objects of J. Moore's experiment: starling (definitive host of the acanthocephalan), acantella (larval stage), woodlouse (intermediate host of the acanthocephalan)



Рис. 2. Цикл развития *Dicrocoelium lanceatum*: 1 — яйца; 2 — личиночные стадии паразита в первом промежуточном хозяине — моллюске (мирацидий спороциста, церкарии); 3-4 — сборная циста; 5 — муравей — второй промежуточный хозяин, зараженный метацеркариями; 6 — окончательный хозяин

*Dicrocoelium lanceatum* development cycle: 1 — eggs; 2 — larval stages of the parasite in the first intermediate host — a mollusk (miracidium sporocyst, cercaria); 3-4 — composite cyst; 5 — an ant — the second intermediate host infected with metacercariae; 6 — the final host

которые, как правило, питаются в утренние и вечерние часы (рис. 2).

**Токсоплазмоз.** Ученые оксфордского университета соорудили на открытом воздухе загородку размером 6х6 футов и при помощи кирпичей превратили ее в лабиринт проходов и тупиков. В каждом углу загородки поместили гнезда с кормушкой, поилкой; каждое гнездо пометили собственным запахом (свежая солома, соломенная подстилка из крысиного гнезда, солома, смоченная мочой кроликов, и солома, смоченная мочой кошек). Помещенные в загородку здоровые крысы с любопытством обследовали лабиринты и гнезда. Однако, наткнувшись на кошачий запах, тут же убежали и больше не возвращались. Очевидно, запах кошки вызывает химический сдвиг в крысином мозгу и порождает острую тревогу, что заставляет избегать этого запаха.

Помещенные в загородку крысы, зараженные токсоплазмозом, вели себя по-другому: запах не вызывал у них тревогу, крысы появлялись в кошачьем углу столь часто, как и в любом другом месте и даже испытывали к этому месту особые интерес. Вероятно, превращая крыс в своеобразных камикадзе, токсоплазма увеличивает свои шансы на попадание в кошку, чтобы успешно завершить жизненный цикл (рис. 3).

**Ангиостронгилез.** Возбудитель ангиостронгилеза — *Angiostrongylus cantonensis*. Человек заражается при употреблении в пищу термически необработанных устриц, креветок, крабов, содержащих личинки паразитов. Паразиты мигрируют в переднюю камеру глаза, вызывая перепапиллярный отек и иридоциклит, провоцируя эозинофильный менингит (рис. 4).

**Токсокароз.** Возбудитель токсокароза — *Toxocara canis*. Несмотря на то, что у человека паразитирует *Ascaris lumbricoides*, собачья аскарида *T. canis* намного опаснее, так как личинки токсокар мигрируют в глаза, головной мозг, другие органы и ткани человека. Поражение мозга приводит к спутанности сознания и нарушению познавательных способностей [10, 11, 15, 18].

Авторы считают, что мозговой токсокароз следует подозревать у пациентов с менингитом и менингоэнцефалитом, когда традиционные этиологические агенты не обнаруживаются, а анамнез подтверждает риск заражения токсокарами (рис. 5).

**Парогонимоз.** Возбудитель парогонимоза — *Paragonimus westermani*. Заболевание протекает с преимущественным поражением легких, но паразиты часто мигрируют в головной мозг. Заражение человека происходит при употреблении в пищу

## Жизненный цикл паразита *Toxoplasma gondii*

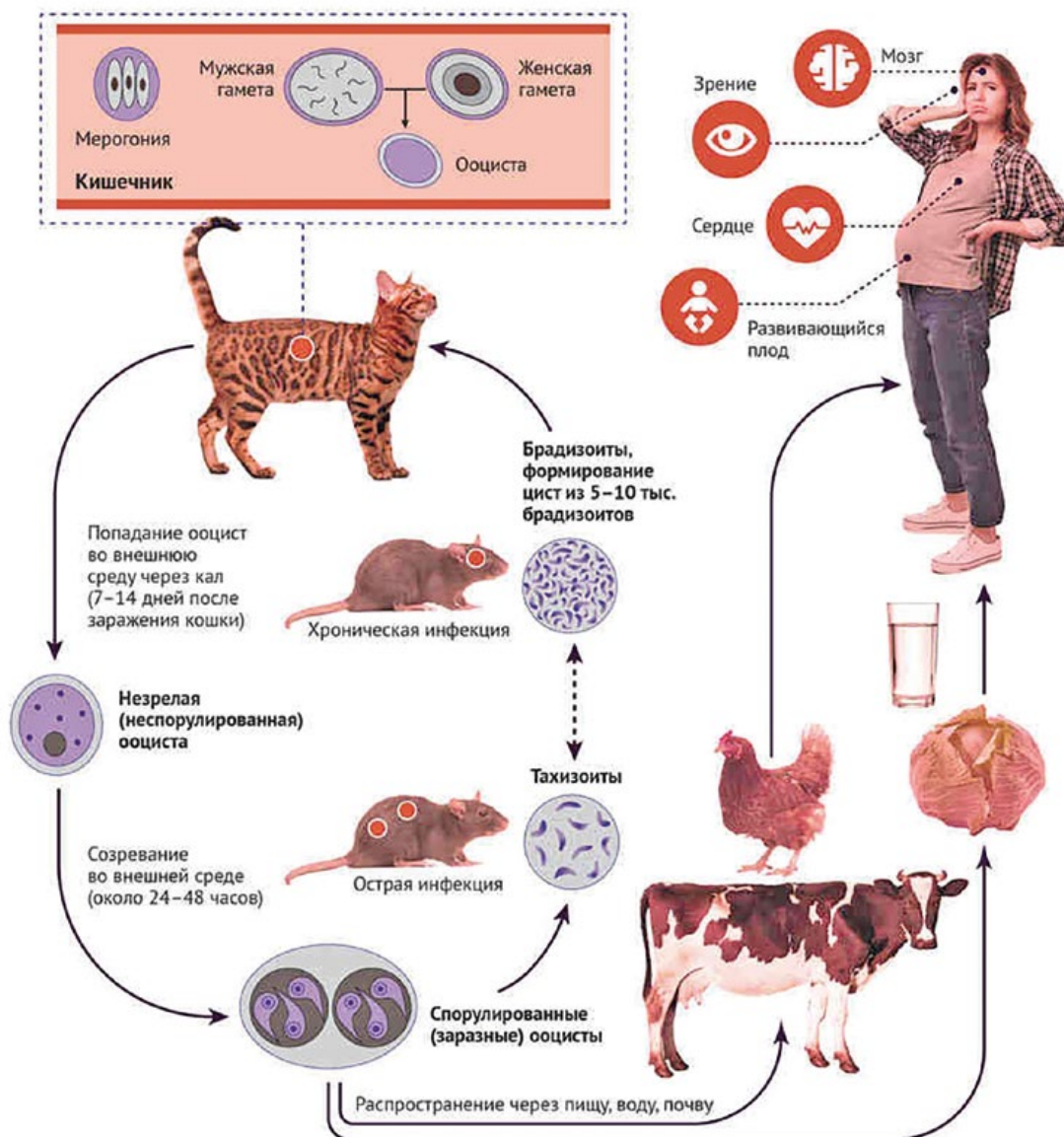


Рис. 3. Цикл развития *Toxoplasma gondii*  
The development cycle of *Toxoplasma gondii*

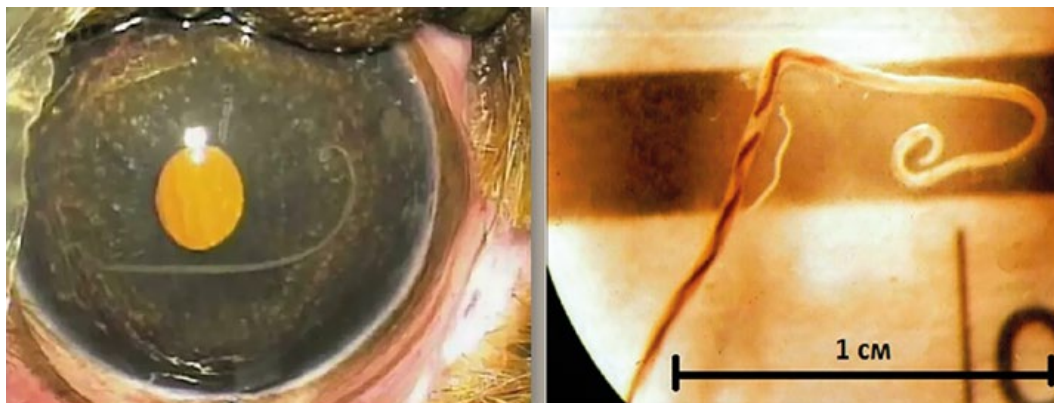


Рис. 4. *Angiostrongylus vasorum* в передней камере глаза  
*Angiostrongylus vasorum* in the anterior chamber of the eye



Рис. 5. Личинки *Toxocara canis* в глазах человека  
*Toxocara canis* larvae in human eyes

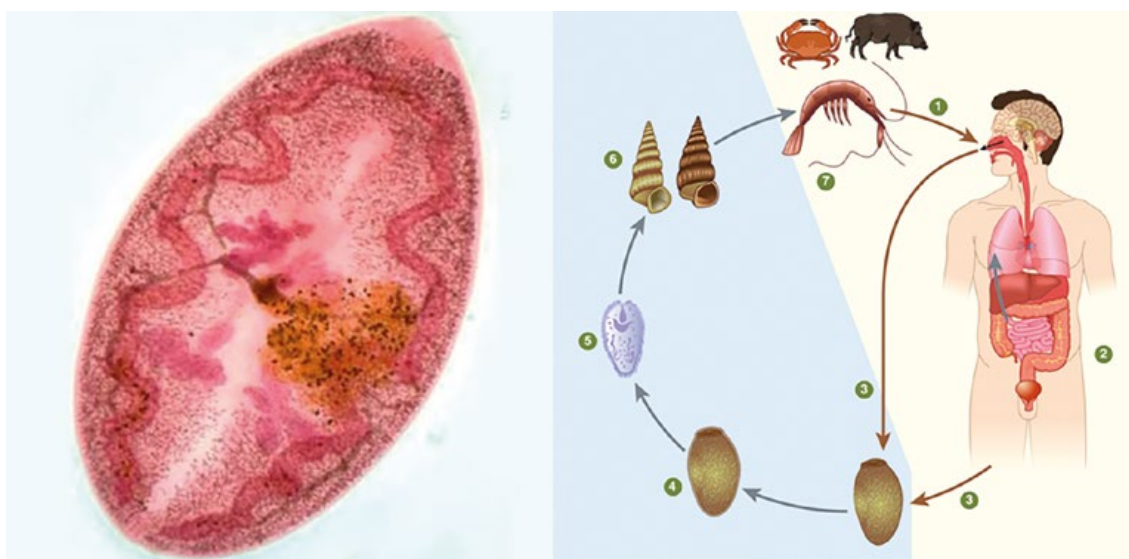


Рис. 6. Цикл развития *Paragonimus westermani*  
 The development cycle of *Paragonimus westermani*

плохо обработанных рачков и крабов. При заносе паразитов в головной мозг развивается менингоэнцефалит (церебральный парогонимоз) (рис.6).

**Тениоз человека.** Возбудитель тениоза *Taenia solium* паразитирует в тонком кишечнике, во внешнюю среду выделяет зрелые членики, наполненные яйцами, однако при антиперистальтике зрелые членики попадают в желудок; вышедшие из яиц личинки часто мигрируют в головной мозг, где вырастают цистицерки (пузыри размером до 0,8 мм в диаметре, наполненные жидкостью и содержащей один сколекс). В результате у человека развивается эозинофильный менингит, спутанность сознания и

другие признаки поражения центральной нервной системы (рис. 7).

**Эхинококкоз.** Возбудитель эхинококкоза личиночная стадия *Echinococcus granulosus*, которая паразитирует в тонком кишечнике псовых сем. Canidae. Человек заражается алиментарным путем, заглатывая яйца эхинококков, онкосферы которых мигрируют в организме и превращаются в личиночную стадию, представляющую собой пузыри различных размеров. Нередко эхинококк мигрирует в головной мозг, вызывая серьезные изменения центральной нервной системы человека (рис. 8).

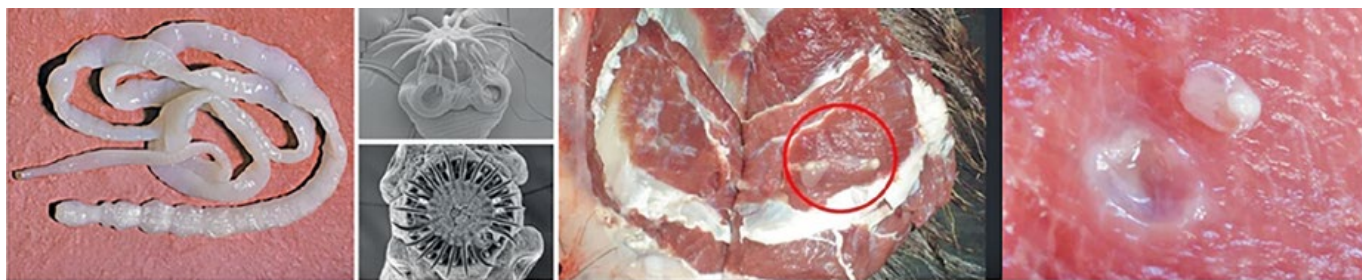


Рис. 7. *Taenia solium* и цистицерки в головном мозге  
*Taenia solium* and cysts in the brain

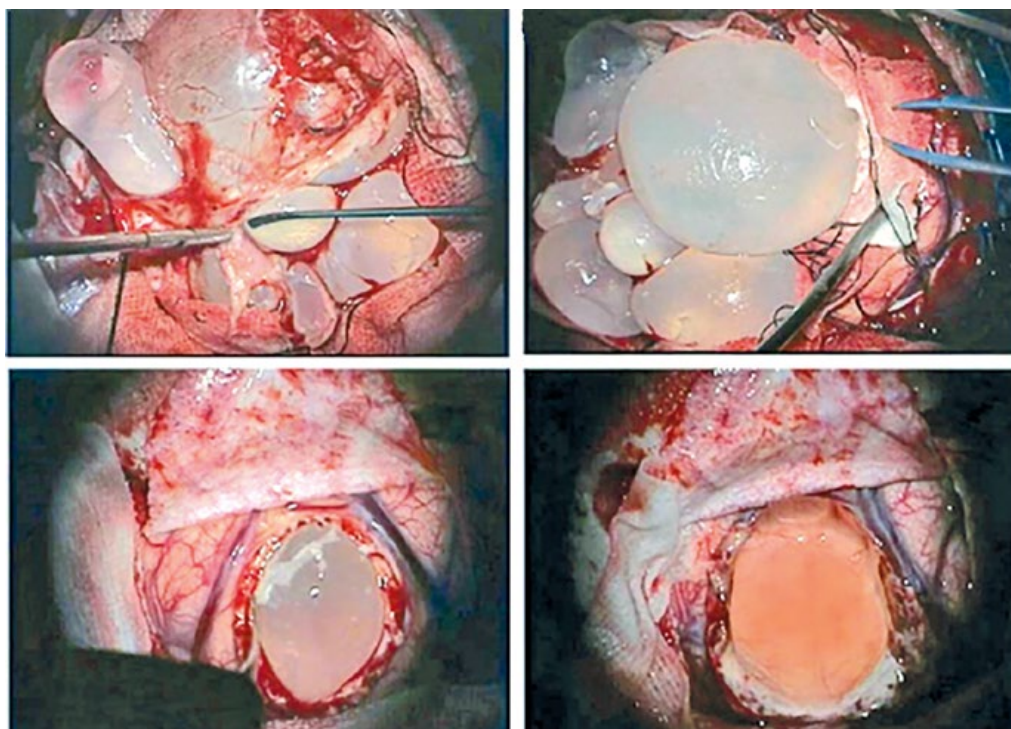


Рис. 8. Эхиноккоки в головном мозге человека  
*Echinococci* in the human brain

**Ценуроз.** Возбудитель ценуроза — *Coenurus cerebralis* — личиночная стадия *Multiceps multiceps*, которая паразитирует в головном и спинном мозге овец. Больные овцы долгое время стоят с опущенной головой, упираясь в какой-либо предмет лбом и не реагирует на окружающее. Среди симптомов: нарушенная координация движений, потеря зрения, вертячка, при поражении спинного мозга — шаткая походка, параличи задних конечностей (рис. 9).

**Лигулез рыб.** Возбудитель лигулеза — личиночная стадия *Ligula intestinalis*. В половозрелой стадии возбудитель паразитирует в кишечнике рыбаодных птиц, в личиночной (плероцеркоид) — в брюшной полости рыб. По мере роста плероцеркоиды достигают больших размеров, сдавливают внутренние органы, при этом нарушаются механизмы плавания, рыбы не способны опускаться на дно, держатся у поверхности воды, производя беспоконные движения («бешенство рыб»), становятся легкой добычей рыбаодных птиц (рис. 10).



Рис. 9. Нарушение координации движений овец при ценурозе  
Impaired coordination of sheep's movements in cynuriosis



Рис. 10. Плероцеркоиды *Ligula intestinalis* в брюшной полости рыб  
*Ligula intestinalis* plerocercoids in the abdominal cavity of fish

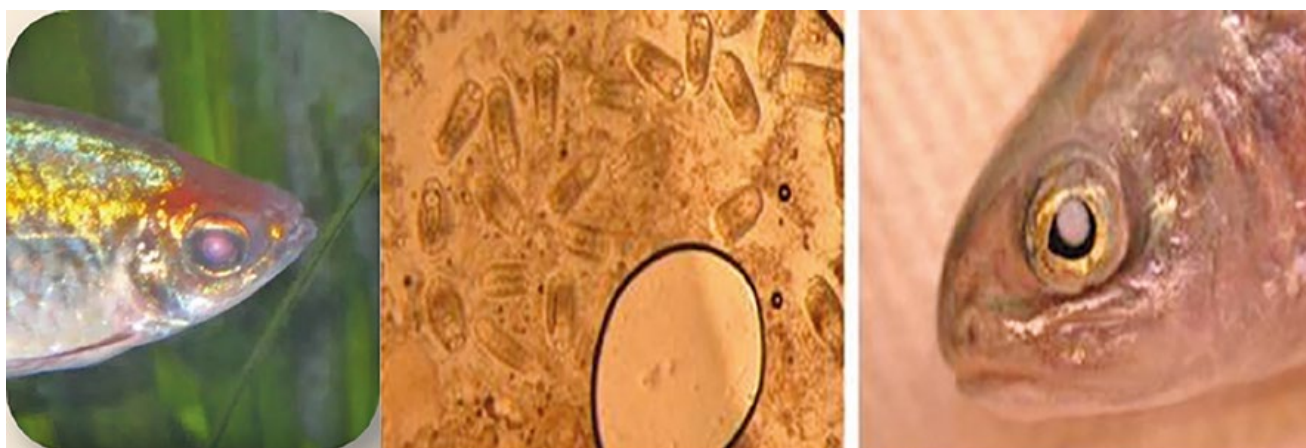


Рис. 11. Метацирকারии трематоды *Diplostomum* в хрусталике рыбы  
*Metacercariae* of the *Diplostomum* trematode in the fish lens



Рис. 12. Нарушение подвижности дождевых червей под действием *Metastrongylus*  
*Impaired mobility of earthworms due to Metastrongylus*

**Диплостоматоз рыб.** Возбудитель диплостоматоза — личиночная стадия трематоды *Diplostomum*. Личинки на стадии метацирকারий паразитируют у рыб в верхней части хрусталика, что помогает гельминту попасть в организм definitive хозяина — рыбаодных птиц (рис. 11).

**Филиколлез уток.** Возбудитель филиколлеза *Filicollis anatis* паразитирует в кишечнике уток. Паразит изменяет поведение ракообразных — промежуточных хозяев скребней. Под воздействием акантелл (личинок паразита) у ракообразных меняется поведение. Зараженные личинками рако-

образные обладают положительным фототаксисом, двигаются на свет, плавают у поверхности воды и становятся легкой добычей уток. В то время как незараженные рачки обладают отрицательным фототаксисом и держатся у дна, что делает их менее доступными для крякв.

**Метастронгиллез.** Возбудитель *Metastrongylus* sp. — паразит домашних и диких свиней. Под воздействием паразита происходит механическое изменение подвижности дождевых червей — промежуточных хозяев. Такие черви легко поедаются кабанями (рис. 12).

### Парадоксальное воздействие: физиология и поведение хозяев

Личинка гельминта — фасциолы, паразитирующая в моллюске, способна воздействовать на физиологию хозяина, стимулируя продукцию более толстой раковины у моллюска. Это воздействие способствует большей выживаемости зараженного моллюска и тем самым большей выживаемости паразита (рис. 13).

При разработке воспроизводимой культуры лососевых в Институте биологии развития РАН руководитель лаборатории В.В. Зюганов наблюдал увеличение продолжительности жизни рыб под воздействием паразитов. После заражения личиночной стадией моллюска жемчужницы, ведущей паразитический образ жизни, сроки жизни зараженной рыбы увеличивались. Если заражение происходило весной, то срок жизни лосося не увеличивался, так как летних месяцев было достаточно для созревания личинки паразита. Последовательными заражениями личинкой моллюска удавалось продлить жизнь лосося на 7 лет по сравнению с естественной физиологической продолжительностью жизни незараженной



Рис. 13. Малый прудовик с утолщенной раковиной под воздействием личинок фасциол  
Small pond snail with a thickened shell due to fasciola larvae



Рис. 14. Глохидии, паразитирующие на осетровых  
*Glochidia parasitizing sturgeon*

рыбы. Вероятно, паразит каким-то образом воздействует на физиологический процесс запрограммированной смерти у рыбы или какие-то метаболиты паразита обладают выраженным геропротективным действием. Замедление старения в экспериментах на лабораторных животных (нематоды, насекомые, мыши) можно наблюдать в результате использования биорегуляторов, мелатонина и некоторых антидиабетических препаратов (рис. 14).

Установлено, что при определенных обстоятельствах паразиты оказывают положительное



Рис. 15. *Opisthorchis felineus* и *Spirometra erinacei europeii*

влияние на своих хозяев. Например, *Opisthorchis felineus* и *Spirometra erinacei mansonioides* выделяют вещества, сходные с гормоном роста человека. Они ускоряют рост своих хозяев (рис. 15).

То же действие оказывают метацеркарии трематод *P. diplostomum* на молодь, кроме того, положительное воздействие паразитов на хозяев, по мнению В.А. Бритова, заключается в том, что они стимулируют и поддерживают на высоком функциональном уровне системы органов, в том числе иммунную систему [3].

## Заключение

Паразиты целенаправленно изменяют физиологию и поведение хозяев для оптимизации жизненного цикла, что существенно для проведения паразитологического исследования в медицине и ветеринарии.

## Конфликт интересов

О конфликте интересов не сообщается

## Библиография

- Акбаев, М.Ш. Паразитология и инвазионные болезни животных / М.Ш. Акбаев, Ф.И. Василевич, Р.М. Акбаев. — М.: КолосС, 2008. — 776 с.
- Анисимов, В.Н. Современные представления о природе старения / В.Н. Анисимов // Тез. Докл. XX съезда физиологов. — М., 2007. — С. 11-15.
- Бритов, В.А. Паразитизм в природе и его роль в охране гомеостаза хозяина / В.А. Бритов // Успехи современной биологии. — 1987. — Т. 104. — Вып. 4. — С. 15-20.
- Василевич Ф.И., Общая паразитология: учебник. / Ф.И. Василевич, Л.М. Белова, М.В. Арисов. — М.: ВНИИП, 2024 — 408 с.
- Василевич Ф.И., Паразитарные зоонозы: монография. / Ф.И. Василевич, Л.М. Белова, М.И. Бурмистрова. — М: ЗооВет-Книга, 2020. — 85с.
- Гиновкер, А.Г. Компенсаторно-приспособительные реакции организма хозяина при описторхозе/ А.Г. Гиновкер: автореферат дис. ... докт. мед. наук. — ИМПИТМ — м, 1984. — 44 с.
- Докинс, Р. Эгоистический ген / Р. Докинс. — М.: Мир, 1993. — 317 с.
- Зюганов, В.В. Выступление в Московском доме ученых. 2007 апрель (неопубл.)
- Кеннеди, К. Экологическая паразитология / К. Кеннеди. — М.: Мир, 1988. — 230 с
- Сергиев, В.П., Физиология паразитизма и проблема биологической безопасности / В.П. Сергиев, М.А. Пальцев. — М.: Медицина, 2008. — 144 с.
- Сергиев, В.П. Человек и его паразиты / В.П. Сергиев, Н.Н. Филатов. — М.: Наука, 2010. — 398 с.
- Федоров К.П., Основы ветеринарной паразитологии: учебник для вузов / К.П. Федоров, А.С. Донченко, Ф.И. Василевич. — Новосибирск, 2013. — 493 с.
- Циммер, К. Паразит — царь природы: Персанг / К. Циммер. — М.: Альпина конфикшн, 2018 — 476 с.
- Шигин, А.А. Пресноводный биоценоз как система, лимитирующая численность трематод / А.А. Шигин // Сборник работ по гельминтологии, посвященный 100-летию академика К.И. Скрябина. — М.: Наука, 1981. — С. 178-196.
- Chieffi, P.P. Muscular strength decrease in *Rattus norvegicus* experimentally infected by *Toxocara canis* / P.P. Chieffi, R.T.R. Aquino, M.A. Paschoalotti, M.C.S.A. Ribeiro, A.G. Nasello // Rev. Inst. Med. Trop. S. Paulo. — 2009 Mar-Apr. — Vol. 51 (2). — pp. 73-75 doi: 10.1590/s0036-46652009000200003.
- Dawkins, R. The extended phenotype. The gene as the unit of selection / R. Dawkins Oxford University Press, 1983. — 307 p.
- Dubey J.P. Toxoplasmosis and neosporosis / J.P. Dubey. — St. Louis, MO: Saunders-Elsevier, 2006. — pp. 754-775.
- Holland, C.V. *Toxocara* in the mouse: a model for parasitealtered host behavior / C.V. Holland // J. Helminthol. — 2004. — Vol. 75. — pp. 125-135.
- Kim, D.Y. *Angiostrongylus cantonensis* now endemic in Louisiana / D.Y. Kim, T.B. Stewart, R.W. Bauer, M. Mitchell // J. Parasitology. — 2002 Oct. — No. 88(5). — pp. 1024-1026. doi: 10.1645/0022-3395(2002)088[1024:PACNEI]2.0.CO;2.
- Lafferty, K.D. Foraging on prey that are modified by parasites / K.D. Lafferty // American Naturalist, 1992, p 854-867.
- Torrey E. F. *Toxoplasma gondii* and Schizophrenia / E.F. Torrey, R.H. Yolken // Emerg. Infect Dis. — 2003 Nov. — No. 9(11) — p 1375 — 1380.