

УДК 576.895.42:595.421:578.4

МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ СИСТЕМЫ КЛЕЩ–ВОЗБУДИТЕЛЬ В ПРИРОДНЫХ ОЧАГАХ КЛЕЩЕВОГО ЭНЦЕФАЛИТА ПРИГОРОДОВ ИРКУТСКА

© 2021 г. О. В. Мельникова^{а, *}, Е. А. Вершинин^а,
Ю. А. Вержуцкая^а, В. М. Корзун^а, Р. В. Адельшин^{а, б},
Ю. Н. Трушина^а, Е. И. Андаев^а

^а ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Роспотребнадзора,
ул. Трилисера, 78, Иркутск, 664047 Россия

^б ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет,
ул. К. Маркса, 1, Иркутск, 664003 Россия

* e-mail: melnikovaovit@gmail.com

Поступила в редакцию 23.11.2020

После доработки 28.01.2021

Принята к печати 03.03.2021

В течение 15 сезонов (2005–2019 гг.) проводили мониторинг состояния природных очагов клещевого энцефалита (КЭ) на нескольких ключевых участках популярного рекреационно-туристического направления Иркутск–Байкал вдоль трассы 25К-011 (Байкальский тракт). Представлены свидетельства стабильного состояния популяций вируса и его основного переносчика – таёжного клеща. Показаны высокая степень неоднородности исследованных участков по уровню обилия имаго *Ixodes persulcatus*, а также своеобразие многолетнего и сезонного изменения этого обилия. Выявлены пространственно-временные различия в зараженности клещей вирусом и отсутствие тренда на изменение вирусофорности за исследуемый период. Установлено отсутствие корреляции в многолетней динамике численности и вирусофорности переносчика. Отмечена важная роль самцов таёжного клеща в диссеминации вируса КЭ.

Ключевые слова: таёжный клещ *Ixodes persulcatus*, вирус клещевого энцефалита (ВКЭ), численность, вирусофорность, изоляты

DOI: 10.31857/S0031184721030029

Основой эпиднадзора при природно-очаговых зоонозах является многолетний ежегодный мониторинг состояния природных очагов. Вопросы функционирования конкретных природных очагов клещевого энцефалита (КЭ), протекающие в них долго-временные популяционно-экологические процессы, взаимодействие всех компонентов паразитарной системы хозяин-переносчик–вирус до сих пор остаются недостаточно

изученными. Подобные исследования требуют долговременных стационарных наблюдений с соблюдением единых методических принципов. В Прибайкалье мониторинг природных очагов КЭ разной степени регулярности и продолжительности проводится с 60-х годов прошлого века (Васенин, 1966; Краминский, 1973; Данчинова, 1990; Вершинина и др., 1991; Богомазова и др., 2012). Однако результатов многолетних стационарных ежедекадных наблюдений в доступной нам литературе нет.

Наиболее важными показателями для оценки эпизоотического состояния и потенциальной опасности природных очагов КЭ считаются численность клещей и их вирусофорность (процент зараженных особей) (Коротков и др., 2006; Коренберг и др., 2013). В то же время изучение этих показателей многими исследователями на протяжении нескольких десятков лет не даёт однозначного ответа на вопрос о взаимосвязи между ними. Одни считают, что колебания зараженности клещей вирусом КЭ (ВКЭ) слабо связаны с изменением их численности (Ковалевский и др., 1988), другие находят отрицательную зависимость между обилием клещей и их вирусофорностью (Бахвалова и др., 2011). Принципиальное значение имеет тот факт, что ежегодная интенсивная циркуляция вируса происходит в основном в «пятнах» со стабильно высокой численностью клещей, как правило, значительно превышающей их обилие в природном очаге в целом. Эти стабильные и эпизоотически активные участки очага представляют собой его своеобразные ядра (Коренберг и др., 2013). Цель настоящей работы – анализ многолетней динамики основных показателей, отражающих состояние популяций вируса и его переносчиков, в природных очагах КЭ в пригородах Иркутска.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Маршруты и методики

Работа проводилась в весенне-летний период 2005–2019 гг. в Иркутском районе Иркутской области. Для регулярных наблюдений было выбрано несколько участков, расположенных в лесных массивах вдоль Байкальского тракта в районе 23, 43 и 47 км. На участках было заложено восемь стационарных линейных маршрутов по 250 м каждый для систематического мониторинга, а также по несколько дополнительных маршрутов для контроля возможного существенного снижения численности популяций на часто посещаемых стационарных маршрутах. Маршруты прокладывали вдоль лесных троп и дорог разной степени использования, просек ЛЭП, со сравнительными учетами по прилегающим лесным массивам. Для контроля вероятности существенного снижения численности популяций на участках регулярного учета, с 2014 г. не чаще одного раза за сезон использовали площадку, расположенную на 30 км тракта (табл. 1).

Клещей собирали с конца апреля по начало июля, по возможности ежедекадно, на движущегося учетчика и стандартный флаг из фланелевой ткани 60×100 см (Таёжный клещ, 1985); уровень численности иксодид оценивали в экземплярах на флаго-час (ф-ч). Среднемноголетние показатели численности таёжного клеща на участках рассчитывали по всем проведенным учтам за исследуемый период. Всего с 2005 по 2019 г. проведено 1384 учета, собрано 19999 экз. иксодовых клещей трёх видов: 19966 имаго и 25 нимф *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930; 7 экз. *Dermacentor silvarum* Olenov, 1932 и 1 экз. *Haemaphysalis concinna* Koch, 1844 (Филиппова, 1977, 1997).

Таблица 1. Основные маршруты учета и сбора искодовых клещей (Иркутская область, Иркутский район, Байкальский тракт)
Table 1.The main tracks for ticks registration and collection (Irkutsk Region, Irkutsk district, Baikalian Highway)

Участок	Маршрут	Характеристика маршрута	Координаты	Высота, м над ур. м.
23 км	Стационарные маршруты 7 и 8. Рядом с детским санаторием «Падь еловая».	ЮЗ (маршрут 7) и СВ (маршрут 8) обочины заброшенной лесной дороги, проходящей через вторичный средневозрастной березняк	52°10'07"–52°09'59" с. ш., 104°30'20"–104°30'09" в. д.	512–536
	Дорога от тракта к санаторию «Падь еловая».	СЗ и ЮВ обочины асфальтированной дороги, ведущей к санаторию «Падь еловая», смешанный осиново-березово-сосновый лес	52°10'07"–52°10'22" с. ш., 104°30'20"–104°30'52" в. д.	510–538
	ЛЭП-1	Просека по смешанному осиново-березово-сосновому лесу	52°10'38"–52°10'11" с. ш., 104°30'55"–104°30'50" в. д.	501–528
	ЛЭП-2	Просека ЛЭП, через смешанный осиново-березово-сосновый лес, параллельная ЛЭП-1	52°10'22"–52°10'11" с. ш., 104°30'49"–104°30'48" в. д.	501–528
	ЛЭП-3 (от санатория к дороге на базу отдыха «Уладово») «Зеленая дорожка»	ЮЗ сторона просеки ЛЭП через смешанный осиново-березово-сосновый лес	52°09'59"–52°10'08" с. ш., 104°30'09"–104°30'48" в. д.	503–512
30 км	Просека ЛЭП, пересекающая тракт	Заросшая мягликом неэксплуатируемая дорога в смешанном осиново-березово-сосновом лесу	52°10'23"–52°10'26" с. ш., 104°30'52"–104°30'55" в. д.	557
		Обочины эксплуатируемой лесной дороги с глубокими колеями по В и СВ краю просеки ЛЭП, пересекающей Байкальский тракт. Вторичный березняк, переходящий в коренную тайгу (сосна с примесью лиственницы и березы)	52°03'31"–52°03'36" с. ш., 104°36'20"–104°36'48" в. д.	475–547
43 км	Просека ЛЭП от тракта к санаторию «Электра». Стационарные маршруты 5 и 6	СЗ (маршрут 5) и ЮВ (маршрут 6) стороны заросшей просеки ЛЭП между коренным смешанным березово-сосновым лесом и вторичным молодым осинником	52°01'56"–52°01'25" с. ш., 104°38'29"–104°38'51" в. д.	491–509

	Просека ЛЭП, параллельная тракту	Просека ЛЭП, проходящая через коренной сосновый лес	52°01'56"-52°01'14" с. ш., 104°38'29"-104°38'17" в. д.	481–509
	Просека ЛЭП, параллельная маршрутам 5 и 6	Просека ЛЭП между асфальтированной дорогой к санаторию «Электра» с лесополосой из сосны и молодым осинником	51°59'49"-51°59'59" с. ш., 104°39'56"-104°40'06" в. д.	491–509
43 км	Обочины асфальтированной дороги от тракта к санаторию «Электра»	Обочины асфальтированной дороги от тракта к санаторию «Электра»	52°01'55"-52°01'49" с. ш., 104°38'34"-104°38'17" в. д.	493–511
	Обочины грунтовой дороги	Эксплуатируемая дорога на СВ от тракта через коренной сосновый лес	52°01'56"-52°02'09" с. ш., 104°38'34"-104°38'52" в. д.	513–518
	Старая телеграфная просека	Сильно заросшая травостоем и подростом неширокая просека в смешанном осиново-березово-сосновом лесу	52°02'36"-52°01'57" с. ш., 104°38'29"-104°39'03" в. д.	505–518
	Обочины заброшенной лесной дороги. Стационарные маршруты 1 и 2	ЮЗ (маршрут 1) и СВ (маршрут 2) обочины грунтовой малоезженной дороги по светлехвойной тайге	52°00'15"-52°00'00" с. ш., 104°40'30"-104°40'43" в. д.	509–540
47 км	Разные стороны противопожарной минерализованной полосы. Стационарные маршруты 3 и 4	ЮЗ (маршрут 3) и СВ (маршрут 4) стороны заросшей противопожарной минерализованной полосы по светлехвойной тайге	52°00'15"-52°00'38" с. ш., 104°40'30"-104°40'39" в. д.	478–541
	Обочины эксплуатируемой грунтовой дороги от тракта через лесной массив	Обочины грунтовой дороги с глубокими колеями на СВ от тракта через светлехвойную тайгу	52°00'01"-52°00'28" с. ш., 104°40'15"-104°40'40" в. д.	525–540
	Просека ЛЭП, пересекающая грунтовую дорогу (см. п. 16)	Просека ЛЭП на СЗ от грунтовой дороги до пересечения с маршрутами 3 и 4	52°00'31"-52°00'15" с. ш., 104°40'18"-104°40'31" в. д.	480–526

Координаты мест сбора материала определяли с помощью спутникового навигатора GPSMAP 76CSx в системе глобального позиционирования.

Клещей исследовали индивидуально, приготавливая из них суспензию на физиологическом растворе (по 0.5 мл на одного клеща). Наличие антигена (АГ) ВКЭ выявляли иммуоферментным методом с помощью набора реагентов ИФА ТС АГ ВКЭ («Микроген», Томск) в соответствии с инструкцией производителя. В 2012 г. использовали Набор реагентов для выявления антигенов вируса клещевого энцефалита ЗАО «Биосервис». Учет результатов проводили визуально и с помощью иммуоферментного анализатора IMARK BioRAD при длине волны 450 нм. Пробу считали положительной, если отношение величины ее экстинкции к величине экстинкции нормального контроля было больше или равно 2.1. Выделение вируса проводили на новорожденных беспородных белых мышах (НБМ), по общепринятой методике (Вирусология, 1988), за животными наблюдали 21 день. Зверьков с клиническими проявлениями нейроинфекции умерщвляли, руководствуясь «Правилами лабораторной практики в Российской Федерации» (утверждены Приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации № 708н от 23.08.2010), и извлекали головной мозг для дальнейших исследований.

РНК/ДНК из клещевых и мозговых суспензий выделяли, используя комплект реагентов «РИБО-преп»; обратную транскрипцию проводили, используя комплект «РЕВЕРТА-L»; геномный материал ВКЭ выявляли в ПЦР с помощью набора реагентов «АмплиСенс® TBEV, *B. burgdorferi* sl, *A. phagocytophilum*, *E. chaffeensis*/E. *muris*-FL» (ФБУН ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора, Москва) в режиме реального времени. на термоциклере C1000™ Bio-Rad CFX96™ (США). ПЦР-продукт гена E получали с помощью набора реагентов ПЦР-PB («Синтол», Москва) и праймеров (Adelshin et al., 2015). Для получения РНК-изолятов ВКЭ ПЦР-продукты визуализировали в 1 % агарозе и затем выделяли согласно стандартной методике (Маниатис и др., 1984) с некоторыми модификациями. Секвенирование ПЦР-продуктов проводили с использованием набора реактивов ABI Prism BigDye Terminator v.1.1 Cycle Sequencing Kit на приборе Genetic Analyzer 3500 xL (Applied Biosystems). Анализ и выравнивание нуклеотидной последовательности проводили в программе BioEdit v. 7.0.5.3 (Hall, 1999).

Статистическую обработку результатов проводили общепринятыми методами вариационной статистики: критерий Стьюдента (t-критерий), регрессионный и корреляционный анализы, коэффициент вариации, критерий χ^2 (Закс, 1976); за статистически достоверный принимали уровень значимости $P < 0.05$. Расчеты проводили с помощью программы Microsoft Excel 2007.

Характеристика обследуемых участков

При районировании ареала КЭ прибайкальские очаги отнесены к Среднесибирско-Забайкальской группе очаговых регионов (Коренберг, Ковалевский, 1981; Коренберг и др., 2013). Пригородная зона Иркутска характеризуется преобладанием рекреационного, а в недавнем прошлом – лесохозяйственного типа освоения. Практически каждый природный комплекс был когда-то нарушен. Это привело к ландшафтному разнообразию, проявляющемуся в сочетании природных комплексов, находящихся на различных стадиях лесовосстановления: от устойчиво длительно-производных до коренных. Преобладающими ландшафтами в пригородах Иркутска являются мнимокоренные долинные травяных и травяно-моховых болот с елью, кедром и лиственницей, а также равнинные и днищ котловин, бруснично-разнотравные с кустарниковым подлеском (Атлас ..., 2004). Антропогенно измененные геосистемы представлены сосново-березовыми разнотравными; сосново-осиновыми с участием березы разнотравными и пойменно-долинными березовыми с участием ели травяно-осоковыми группами биогеоценозов. Значи-

тельные площади заняты послепожарными и послевырубочными сосновыми с примесью березы травяно-злаковыми и лиственничными разнотравными группами биогеоценозов (Атутова, 2013).

Байкальский тракт соединяет г. Иркутск с пос. Листвянка на оз. Байкал у истока р. Ангары и проходит вдоль правого её берега по таежным округам предгорьев Приморского хребта, где широко представлены подтаежные светлехвойные комплексы, а также смешанные сосново-березовые леса с примесью осины с хорошо развитым подлеском и густым разнотравьем. Вдоль него расположено множество рекреационных зон, дачных и коттеджных поселков, в теплый период года по трассе движется значительный поток туристов из России и из-за рубежа. На этой территории происходит треть заражений жителей Иркутска КЭ и четверть заражений иксодовыми клещевыми боррелиозами (ИКБ) (Мельникова и др., 2014). В иксодофауне абсолютно преобладает таежный клещ *I. persulcatus*, единично встречаются клещи *D. silvarum* и *H. concinna*.

Участки, на которых проводились регулярные наблюдения, различаются между собой составом растительных сообществ, степенью антропогенного воздействия (в т. ч. посещаемости населением) и численностью иксодовых клещей (Мельникова, 2018). Для удобства пространственной ориентировки рабочие названия участков привязаны к дистанционным столбам, в районе которых проходили наблюдения. Ближний к городу участок – 23-й км, подвергшийся в большей степени антропогенному прессу, находится на ранних этапах сукцессионного процесса (преобладание средне- и высоковозрастных березняков). На 43-м и 47-м км шире представлены коренные таежные биотопы. Участки пространственно обособлены изрезанностью рельефа (горный распадок с р. Тальцинкой), на каждом из них имеется зона организованного отдыха населения (на 23-м и 43-м км – санатории, на 47-м км – Музей деревянного зодчества под открытым небом), что определяет актуальность мониторинга очагов КЭ на данной территории.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Самое доступное для выявления экологическое свойство популяции таёжного клеща – уровень обилия имаго, а также связанные с ним особенности пространственного распределения (Таёжный клещ, 1985). Он же является интегральным показателем, характеризующим состояние популяции. В условиях Прибайкалья численность таёжного клеща отличается большой неоднородностью в пространстве (Данчинова и др., 1989). По наблюдениям Короткова (2009) даже при благоприятных экологических условиях (температурный и влажностный оптимум) *I. persulcatus* на учетных площадках распределен крайне неравномерно. При наличии «пятен» повышенной численности преобладают «пустые» квадраты, доля которых может достигать 40 %. При сходном среднем уровне численности клещей популяции имеют и сходный характер ее распределения (в пространстве или времени), который может быть выражен гистограммой, отражающей относительную частоту (в процентах) обилия этих членистоногих (Коренберг, 1979). В пессимальных для клещей условиях число типов пространственной структуры популяций невелико. Наибольшее их разнообразие (не менее 7) должно быть характерно для регионов, где численность клещей доходит до максимально возможного уровня (Коренберг и др., 2013). На рис. 1 представлены вариационные ряды показателей обилия (на ф-ч) имаго *I. persulcatus* на стационарных (23, 43 и 47-й км) и контрольном (30-й км) участках. Модальный класс на всех участках составляет 20–50 экз.

на ф-ч, но доля учётов с такой численностью варьирует. Характер распределения уровней обилия для участков 43 и 47 км примерно одинаков и сильно отличается от двух других. На 23 км более половины учётов образуют классы с нулевой и низкой численностью клещей, в то время как на контрольном 30 км таких учётов почти нет, а на 43 и 47 км их доля составляет 20–26 %. Сравнение распределений частот показателей обилия на всех участках наблюдения выявило высокую степень их неоднородности ($\chi^2 = 214.4$, $df = 18$, $P < 0.001$), включая участки 43 и 47 км ($\chi^2 = 11.2$, $df = 4$, $P < 0.05$). Обилие имаго *I. persulcatus* варьировало по участкам, по годам и в течение сезона активности. Динамика многолетней среднесезонной численности по участкам отражена на рис. 2, среднее и максимальное обилие на отдельных учетных маршрутах – в табл. 2.

На ближайшем к городу участке (23 км) с многолетним сильным антропогенным прессом численность таежных клещей почти во все годы наблюдений была достоверно ниже, чем на 43 и 47 км (среднемноголетние значения, соответственно, равняются 25.4 ± 1.43 ; 50.4 ± 2.54 и 55.7 ± 2.06 экз. на ф-ч; 23 км vs 43 км: $t = 8.58$, $df = 583$; 23 км vs 47 км: $t = 12.10$, $df = 880$, $P < 0.001$ в обоих случаях). Тем не менее популяция достаточно стабильна, и клещи встречаются ежегодно во всех обследуемых биотопах, в том числе по обочинам асфальтированной дороги. Обилие клещей довольно значительно различалось от маршрута к маршруту, в том числе на стационарных маршрутах 7 и 8, проходящих по разные стороны одной лесной дороги: многолетняя средняя численность на маршруте 8 статистически значимо превышала таковую на маршруте 7 (13.2 ± 1.95 против 6.9 ± 1.03 ; $t = 2.87$, $df = 136$, $P < 0.01$). Самым высоким было обилие клещей на просеках ЛЭП, где зафиксирована и максимальная на данном участке наблюдения численность – 240 экз. на ф-ч (табл. 2). Самые низкие показатели обилия наблюдались при контрольных учётах по лесу, и они были достоверно ниже таковых в антропогенно измененных биотопах (лесные дороги – $t = 4.63$, $df = 180$, $P < 0.001$; просеки ЛЭП – $t = 14.02$, $df = 210$, $P < 0.001$; обочины асфальтированной дороги – $t = 5.15$, $df = 66$, $P < 0.001$).

На 23 км была хорошо выражена многолетняя цикличность с пиками численности в 2005, 2007 и 2010 гг. (среднесезонное обилие составило 30.6, 31.5, 32.4 экз. на ф-ч соответственно); следующий и самый выраженный пик наблюдали в 2017 г. (52.7 экз. на ф-ч). Минимальные значения за исследуемый период наблюдались в 2009 г. (14.6 экз. на ф-ч) и с 2013 по 2015 г. (16.3–18.3 экз. на ф-ч). В настоящее время локальная группировка находится на спаде численности.

Популяция *I. persulcatus* на 43 км характеризуется разнообразием обилия клещей на отдельных маршрутах (включая статистически значимую разницу между стационарными маршрутами 5 и 6 (49.6 ± 6.12 против 71.2 ± 5.45 , $t = 2.63$, $df = 126$, $P < 0.01$) и самыми высокими показателями численности на учетах (до 392.0 экз. на ф-ч) (табл. 2). По нашим наблюдениям клещей много даже на открытых обочинах дорог и просеках в часы низкой их активности (с 12 до 17 ч) при температуре воздуха выше 25 °С. В какой-то мере это можно объяснить большим количеством прокормителей имаго – как диких (копытных и зайцев), так и домашних (собак и кошек) животных

на данной территории. Выше всего численность клещей в местах свалок подроста, образованных в результате чисток просеки ЛЭП. Обилие членистоногих непосредственно в лесном массиве на данном участке, в отличие от 23 км, сопоставимо с таковым на прочих учетных маршрутах в целом. Максимальные среднесезонные показатели численности иксодид за многолетний период имели место в 2005, 2017 и 2018 гг. (110.3, 107.5 и 113.9 экз. на ф-ч соответственно), минимальные наблюдались с 2011 по 2013 гг. (31.6, 36.3 и 34.5 экз. на ф-ч соответственно). В настоящее время регистрируется снижение показателей численности клеща *I. persulcatus*.

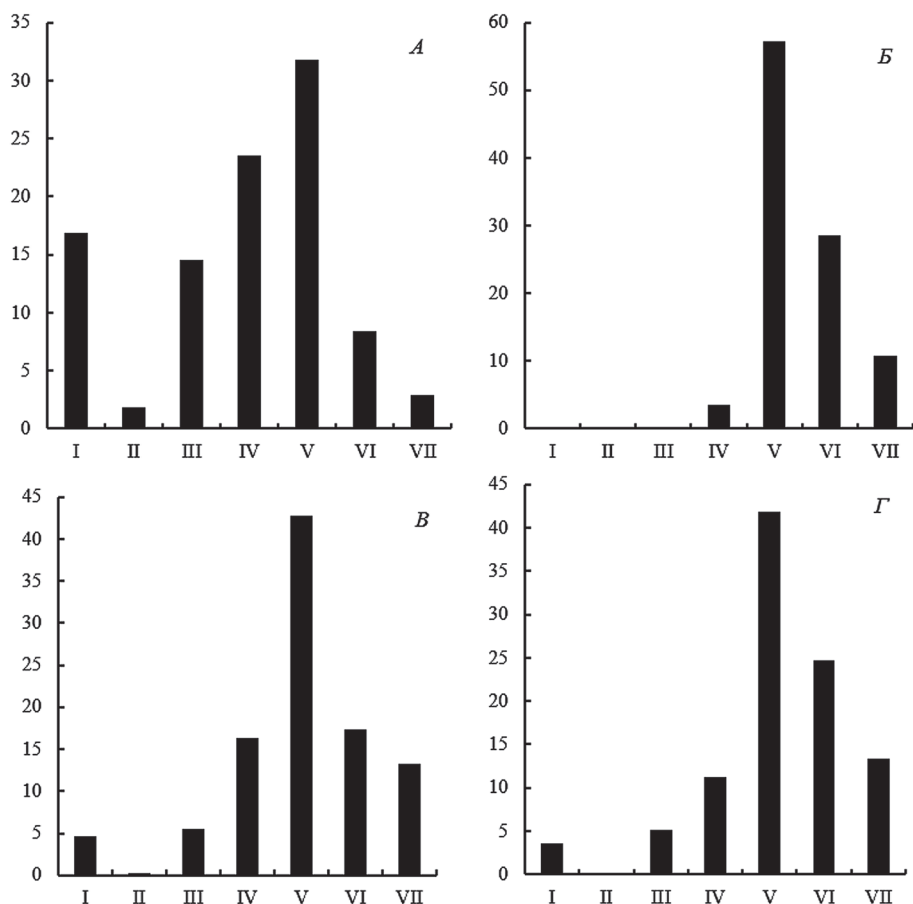


Рисунок 1. Вариационные ряды показателей обилия (на ф-ч) имаго *I. persulcatus* на ключевых и контрольном участках: А, В, В и Г – 23, 30, 43 и 47 км Байкальского тракта. По оси абсцисс – классы численности клещей: I – клещи отсутствуют, II – 1–2, III – 3–7, IV – 8–19, V – 20–59, VI – 60–99, VII – 100 и более. По оси ординат – доля учетов (в %) с данной численностью.

Figure 1. Variational series of the *I. persulcatus* imago abundance rates (specimen for 1 flag hour) on the key and control patches: А, В, С and D – 23, 30, 43 and 47 km of the Baikal Highway. X-axis – the ticks' abundance classes: I – lack of ticks, II – 1–2, III – 3–7, IV – 8–19, V – 20–59, VI – 60–99, VII – 100 and more. Vertical axis – percentage of the census with that abundance.

Популяция таёжного клеща на 47 км Байкальского тракта имеет стабильно высокую численность, различающуюся от маршрута к маршруту в диапазоне 47.3–80.1 экз. на ф-ч (табл. 2). В целом обилие членистоногих непосредственно в лесу было незначительно ниже, чем на лесных дорогах и просеках. Пики численности за период наблюдений пришлось на 2005, 2010 и 2017 гг. (83.1, 71.2 и 95.8 экз. на ф-ч соответственно). Абсолютный среднесезонный минимум был отмечен в 2012 г. – 34.6 экз. на ф-ч. В настоящее время наблюдается подъем численности *I. persulcatus* на данном участке (рис. 2).

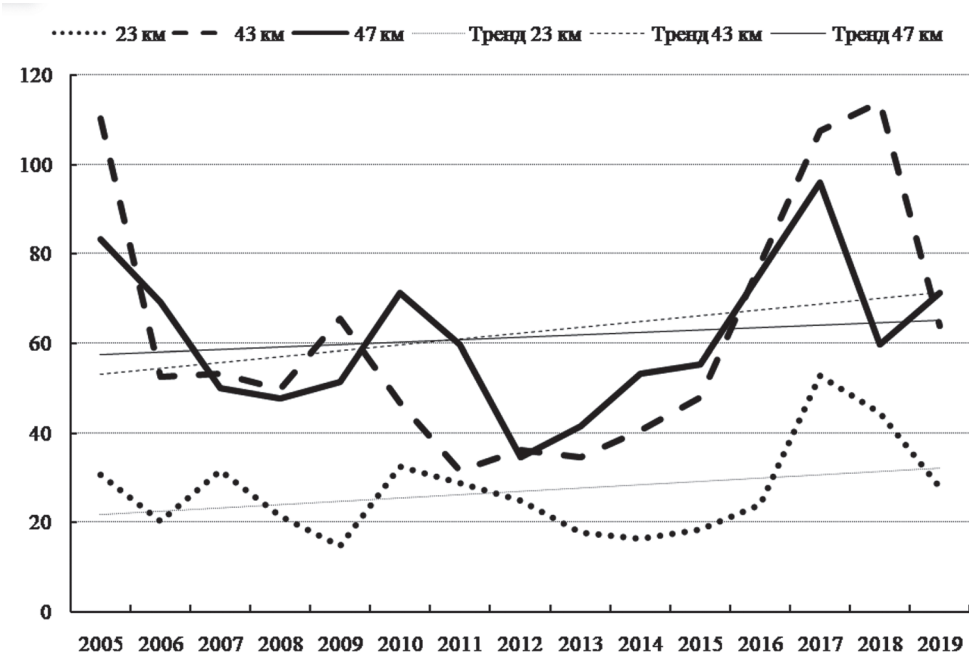


Рисунок 2. Многолетняя динамика численности таёжного клеща на стационарных участках Байкальского тракта (2005–2019 гг.). По оси ординат – численность (экз. на ф/ч), по оси абсцисс – годы наблюдений.

Примечание: в 2016 г. на 43 и на 47 км тракта наблюдения отсутствовали, поэтому для восполнения пробелов в многолетнем ряду динамики численности указанные пропуски были заполнены средними значениями между предшествующим и последующим годом. Вероятность того, что в указанный год был всплеск или резкий спад численности на данных участках не исключается, однако численность невелика, т. к. на 23 км в 2016 г. обилие клещей не претерпевало резких скачков.

Figure 2. Multi-year trends of the taiga tick abundance in the key plots of the Baikalian Road (2005–2019). Vertical axis – abundance rates (specimen for 1 flag hour), X-axis – the monitoring years.

Note: There were no observations on 43 and 47 km in 2016, so, the blanks in the multi-year trend were filled with average values between previous and subsequent years. The probability of spike or sharp drop of the ticks abundance on these plots can not be excluded, but it is low taking into account, that the abundance on 23 km in 2016 did not change sharply.

Таблица 2. Среднегодовая и максимальная численность *I. persulcatus* на стационарных и контрольных учетных маршрутах (Иркутская область, Байкальский тракт, 2005–2019 гг.)

Table 2. The multi-year average and peak numbers of *I. persulcatus* on the fixed and control registration tracks (Irkutsk Region, Baikal Highway, 2005–2019)

Участок	Маршрут	Всего учетов по данному маршруту	Число клещей	Численность (экз. на флаго-час)		Дата учета с максимальной численностью	Число изолятов с данного участка
				Среднегодовая	Максимальная		
23 км	Стационарный маршрут № 7	70	94	6.9±1.03	42.9	15.06.06	0
	Стационарный маршрут № 8	68	166	13.2±1.95	72	22.06.05	0
	Маршруты 7 и 8 совместно*	156	347	10.2±1.10	72	22.06.05	0
	ЛЭП-1	189	1924	41.6±2.84	240	16.05.18	7
	ЛЭП-2	12	110	35.8±6.81	83.1	28.04.14	0
	ЛЭП-3	8	212	44.1±9.19	104	2.06.15	0
30 км 43 км	«Зеленая дорожка»	21	192	23.4±7.6	164.3	7.05.18	0
	Обочины асфальтированной дороги от тракта к санаторию «Падь еловая»	60	390	16.8±2.48	102	15.06.06	0
	Произвольно по лесному массиву	8	4	2.5±1.24	8	4.05.08	0
	Прочие учёты**	17	103	17.5±4.71	64.4	20.06.08	0
	Просека ЛЭП	36	699	54.1±5.86	144	26.05.15	2
	Стационарный маршрут № 5	64	1101	49.6±6.12	272	17.05.07	10
	Стационарный маршрут № 6	64	1588	71.2±5.45	202.7	15.05.18	12
	Маршруты 5 и 6 совместно*	140	3098	61.7±4.25	272	17.05.07	22
	Просека ЛЭП параллельная маршрутам 5 и 6	42	477	44.6±5.03	160	29.05.09	8
	Обочины асфальтированной дороги от тракта к санаторию «Электра»	34	366	31.3±6.17	171.4	12.05.17	1

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continuone

47 км	Просека ЛЭП, параллельная тракту	5	184	89.2±21.33	146	7.05.19	3
	Обочины грунтовой дороги	89	1454	35.8±4.21	236	29.05.09	2
	Старая телеграфная просека	21	210	39.3±6.79	105	27.05.11	1
	Произвольно по лесному массиву	10	82	43.7±8.29	90	5.05.09	0
	Прочие учёты**	30	1065	75.2±15.66	392	19.05.05	0
	Стационарный маршрут № 1	79	1210	51.7±4.10	164	5.06.19	6
	Стационарный маршрут № 2	78	1926	80.1±7.08	280	15.05.19	10
	Маршруты 1 и 2 совокупно*	177	3620	62.9±4.01	280	15.05.19	16
	Стационарный маршрут № 3	76	1046	50.1±4.83	232.5	2.06.10	4
	Стационарный маршрут № 4	74	992	48.1±3.93	172.8	26.05.06	6
	Маршруты 3 и 4 совокупно*	172	2576	51.9±3.26	232.5	2.06.10	10
	Обочины грунтовой дороги	102	2196	56.5±3.99	210	5.06.19	6
	Просека ЛЭП на СЗ от грунтовой дороги	42	493	47.3±6.56	210	5.06.19	0
	Произвольно по лесному массиву	7	57	34.1±9.20	60	13.05.09	1
	Прочие учёты**	6	107	18.8±7.04	45	15.05.06	1

Примечания. *Значения по совокупным учётам не являются суммой двух показателей, поскольку в некоторых случаях данные учётов по двум маршрутам фиксировали объединённо. **Нерегулярно проводимые учёты вне указанных маршрутов.

Среднемноголетние значения численности таёжного клеща на участках 43 и 47 км Байкальского тракта не имеют статистически достоверных различий ($t = 1.61$, $df = 755$, $P > 0.05$). Ни на одном из участков наблюдения не прослеживаются очевидные направленные тенденции изменения обилия клещей за исследуемый период (рис. 2). Коэффициенты регрессии для 23, 43, 47 соответственно равны 0.153 ± 0.1018 , 0.081 ± 0.0427 , 0.088 ± 0.0766 , $df = 13$, $P > 0.05$ во всех случаях.

Среднемноголетнее обилие таёжного клеща на контрольном участке (30 км) оказалось близко к таковому на 43 и 47 км, составив 54.1 ± 5.86 экз. на ф-ч и значительно отличалось от этого показателя на 23 км ($P < 0.001$, $df = 39$). В то же время многолетняя динамика численности между разными участками наблюдения хорошо коррелировала: 23 и 43 км $r = 0.698$, $P < 0.01$; 23 и 47 км $r = 0.631$, $P < 0.05$; 43 и 47 км $r = 0.665$, $P < 0.01$; $df = 12$ во всех случаях. Тем не менее на 23 км невысокий среднемноголетний уровень численности сохраняется, несмотря на значительные колебания ($CV = 122.61$). Амплитуда колебаний на 43 и 47 км ниже (коэффициент вариации составляет 96.07 и 82.51 соответственно), и различия по этому показателю достоверны между всеми участками наблюдения (23 км vs 43 км – $P < 0.001$ при $df = 838$, 23 км vs 47 км – $P < 0.001$ при $df = 973$ и 43 км vs 47 км – $P < 0.05$ при $df = 861$). Согласно данным независимого исследования Вержуцкого и Вержуцкой (2015, с. 74), проведенное за три последовательных года (2012–2014 гг.) картирование плотности *I. persulcatus* в лесных массивах, прилегающих к Байкальскому тракту, показало наличие здесь, как минимум, трех группировок клещей популяционного ранга. Максимальная плотность регистрировалась на 22–24, 42–46, 54–58 и 62–63 км. Авторы предполагают «значительные различия данных группировок по многим показателям (физиологии, биохимии, экологии, особенностям поведенческого рисунка и т. д.)».

Продолжительность активности и динамика сезонной численности взрослых голодных клещей зависит от соотношения режимов их активации и скорости гибели. Пик численности взрослых *I. persulcatus* почти повсеместно на протяжении его ареала наблюдается в последней декаде мая – первой декаде июня. Вместе с тем в одном и том же лесном массиве сроки начала и окончания периода активности в разные годы не одинаковы и зависят от погодных условий конкретного года (Коренберг и др., 2013).

Среднемноголетний сезонный ход численности *I. persulcatus* на ключевых участках Байкальского тракта показан на рис. 3. Обилие клещей в начале сезона на всех обследуемых участках примерно одинаково, затем в динамике имеются выраженные различия. На 23 км максимальная активация клещей происходила с двумя явными сезонными подъемами: во второй декаде мая и первой декаде июня; к началу июля клещи встречались единично. На 43 км взрывной рост активности происходил уже в начале мая и держался на высоком уровне четыре последовательные декады с постепенным снижением со 2-й декады июня. На 47 км активность *I. persulcatus* росла постепенно, достигая пика в первой декаде июня с более крутым характером снижения, начиная со 2 декады июня. Своеобразие сезонного изменения обилия клещей на участках может служить доводом в пользу существования здесь самостоятельных популяций.

Имелись также различия в сроках активизации самцов и самок (рис. 3). В начале сезона при учете клещей на флаг в сборах доминировали самцы (52.3 % всей выборки), на пике сезонной численности в сборах незначительно преобладают самки, к концу сезона число самцов снова сильно увеличивалось (58.8 % в начале июля). Доля самок в сборах прямо коррелирует с численностью клещей (коэффициенты корреляции Спирмена для участков 23, 43 и 47 км составили соответственно 0.548, 0.712 и 0.838). Это может объясняться особенностями поведения самок, являющихся наиболее активными из всех стадий развития таёжного клеща (Alekseev et al., 2000).

Вероятность заражения человека КЭ в природном очаге зависит от количества имеющихся там зараженных клещей. По результатам ИФА, средняя спонтанная зараженность *I. persulcatus* на исследуемой территории составила 1.6 ± 0.11 %. Колебания по годам были достаточно сильными (от 0.3 до 2.9 %), но общий тренд не претерпел существенных изменений за исследуемый период (табл. 3). Коэффициенты регрессии для 23, 43, 47 соответственно равны 1.587 ± 1.4233 , 0.365 ± 0.8263 , 0.642 ± 0.8958 , $df = 13$, $P > 0.05$ во всех случаях.

Максимальные показатели зараженности по всей обследуемой территории наблюдались в 2007 и 2018 гг. (2.6 ± 0.52 и 2.9 ± 0.73 % соответственно), минимальные – в 2008 и 2017 гг. (0.8 ± 0.25 и 0.3 ± 0.22 %). Доля клещей, содержащих АГ ВКЭ, существенно варьировала по годам и по участкам. Периодичность этих изменений на каждом из обследуемых участков отличалась своеобразием и не коррелировала с численностью клещей в данной локации (коэффициенты ранговой корреляции Спирмена для участков 23, 43 и 47 км равнялись, соответственно, 0.016, 0.066 и 0.229). Максимальная доля клещей, содержащих АГ ВКЭ, на 23 км была выявлена в 2010 г. (2.6 % от числа исследованных), на 43 км – в 2013 и 2018 гг. (4.7 и 4.8 % соответственно), на 47 км – в 2018 г. – 5.0 %. На участках 43 и 47 км переносчики с вирусом выявлялись ежегодно, на 23 км – примерно раз в три года. Среднеголетняя вирусофорность на 43 и 47 км составила 2.0 ± 0.20 и 1.8 ± 0.17 % соответственно и была достоверно выше, чем на 23 км (0.9 ± 0.19 %, $P < 0.001$ в обоих случаях). Статистически достоверных различий по доле зараженных ВКЭ клещей между участками на 43 и 47 км не наблюдалось.

На протяжении сезона доля зараженных клещей неодинакова. Данчинова (2006) отмечает, что инфицированность клещей ВКЭ максимальна в начале эпидемического сезона, затем достоверно снижается. Коренберг с соавт. (1988) считают, что степень инфицированности свежеективировавшихся взрослых *I. persulcatus* в разные периоды весенне-летнего сезона примерно одинакова. Меньшая зараженность клещей, отмечаемая во второй половине лета, по всей видимости, связана с потерей вируса давно активировавшимися и длительно живущими особями соответствующего физиологического возраста (Коренберг и др., 2013). Алексеев (2007) полагает, что число особей с высокими титрами ВКЭ возрастает к концу сезона (июль) из-за изменения их физиологического состояния под влиянием высокой температуры. Мы не обнаружили закономерности выявления АГ ВКЭ в ходе сезонной активности переносчика.

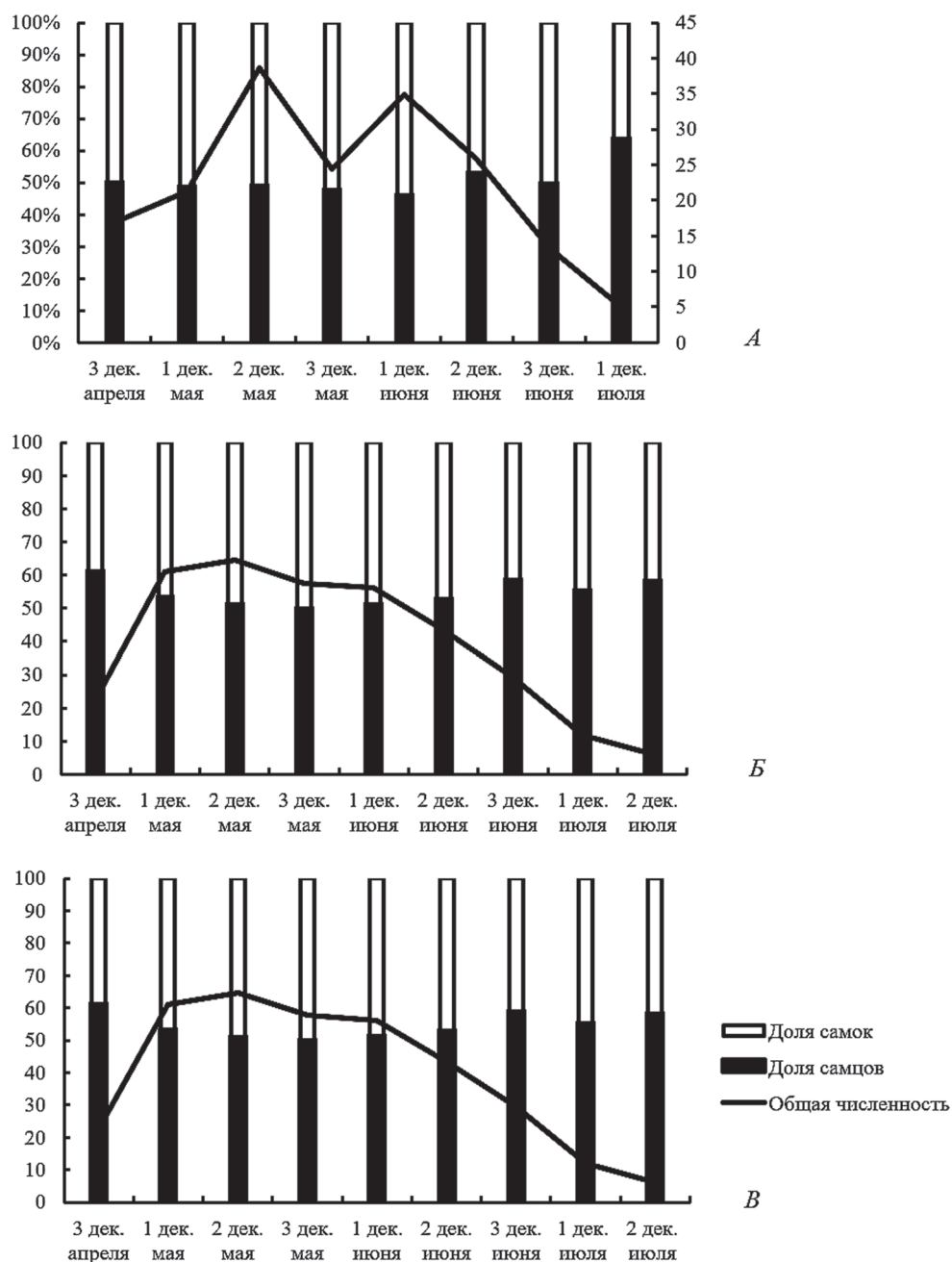


Рисунок 3. Сезонный ход численности и соотношения полов имаго таёжного клеща на участках наблюдения. А, Б, В – 23, 43 и 47 км соответственно.

Figure 3. Seasonal course of the taiga tick abundance and sex ratio on the observation plots. А, В, С – 23, 43 and 47 km, respectively.

Таблица 3. Многолетняя вирусофорность (в %) таёжного клеща на Байкальском тракте по результатам иммуноферментного анализа
Table 3. Multi-year taiga tick infection rate (%) on the Baikalian Highway based on ELISA results

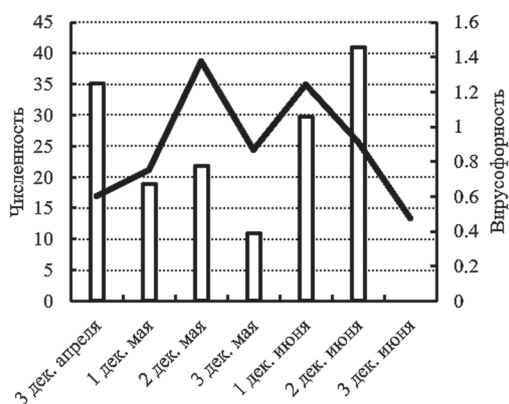
Годы	23 км		30 км		43 км		47 км		По всем участкам	
	Исследовано / из них положительных	%± <i>m</i>	Исследовано / из них положительных	%± <i>m</i>	Исследовано / из них положительных	%± <i>m</i>	Исследовано / из них положительных	%± <i>m</i>	Исследовано / из них положительных	%± <i>m</i>
2006	162 / 1	0.6±0.62	н/и	н/и	471 / 6	1.3±0.52	1007 / 20	2.0±0.44	1640 / 27	1.6±0.31
2007	224 / 1	0.5±0.45	н/и	н/и	402 / 14	3.5±0.91	304 / 9	3.0±0.97	930 / 24	2.6±0.52
2008	161 / 1	0.6±0.62	н/и	н/и	650 / 6	0.9±0.38	501 / 1	0.2±0.20	1312 / 8	0.6±0.21
2009	210 / 2	1.0±0.67	н/и	н/и	549 / 10	1.8±0.57	730 / 4	0.6±0.27	1489 / 16	1.1±0.27
2010	344 / 9	2.6±0.86	н/и	н/и	481 / 3	0.6±0.36	475 / 4	0.8±0.42	1300 / 16	1.2±0.31
2011	240 / 1	0.4±0.42	н/и	н/и	177 / 1	0.6±0.56	538 / 15	2.8±0.71	955 / 17	1.8±0.43
2012	160 / 3	1.9±1.07	н/и	н/и	312 / 5	1.6±0.71	296 / 9	3.0±1.0	768 / 17	2.2±0.53
2013	202 / 0	0±0.49	н/и	н/и	382 / 18	4.7±1.08	551 / 6	1.1±0.44	1135 / 24	2.1±0.43
2014	159 / 2	1.3±0.88	74 / 1	1.4±1.34	334 / 8	2.4±0.84	414 / 9	2.2±0.72	981 / 20	2.0±0.45
2015	139 / 0	0±0.70	86 / 0	0±1.13	345 / 9	2.6±0.86	431 / 16	3.7±0.91	1001 / 25	2.5±0.49
2016	71 / 0	0±1.35	253 / 3	1.2±0.68	н/и	н/и	н/и	н/и	324 / 3	0.9±0.53
2017	79 / 0	0±1.21	121 / 0	0±0.80	267 / 1	0.4±0.37	184 / 1	0.5±0.54	651 / 2	0.3±0.22
2018	215 / 1	0.5±0.46	20 / 0	0±4.35	231 / 11	4.8±1.40	60 / 3	5.0±2.81	526 / 15	2.9±0.73
2019	24 / 0	0±3.70	н/и	н/и	157 / 1	0.6±0.63	360 / 4	1.1±0.55	541 / 5	0.9±0.41
За все годы	2390 / 21	0.9±0.19	554 / 4	0.7±0.36	4758 / 93	2.0±0.20	5851 / 101	1.8±0.17	13553 / 219	1.6±0.11

Примечание: н/и – не исследовали.

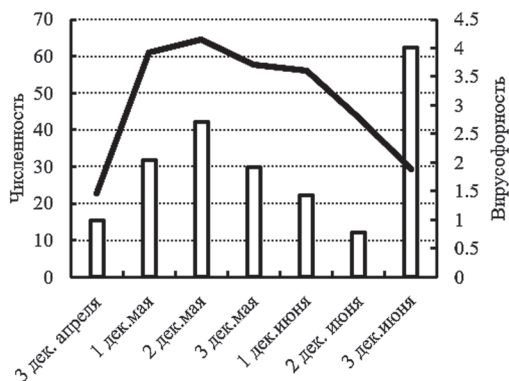
На рис. 4, видно, что максимальная доля клещей с АГ ВКЭ на каждом из стационарных участков приходится на разное время и расходится с их пиковой активностью. Наибольшая доля зараженных клещей на 23 км Байкальского тракта пришлась на конец апреля (1.3 ± 0.62 %) и середину июня (1.5 ± 0.72 %), когда активность переносчика была невелика (рис. 4А). На участке 43 км динамика сезонной численности и вирусифорности в основном совпадала, кроме 3 декады июня, когда резкое снижение активности клещей сопровождалось всплеском вирусифорности (рис. 4Б). На 47 км два анализируемых параметра находились, скорее, в противофазе (рис. 4В): наибольшая доля инфицированных клещей (3.1 ± 1.53 %) наблюдалось в 3 декаде апреля – при минимальной сезонной активности переносчика (26.8 экз. на ф-ч), и наоборот, на максимуме активности – в 1 декаде июня (86.9 экз. на ф-ч) – доля зараженных экземпляров была наименьшей за сезон (1.3 ± 0.38 %).

Ежегодная интенсивная циркуляция вируса происходит в основном в «пятнах» со стабильно высокой численностью клещей, как правило, значительно превышающей их обилие в природном очаге в целом. В то же время ключевым параметром, от которого зависит лоймопотенциал природного очага, является абсолютная численность высокоинфицированных клещей (Коренберг и др., 2013). С целью выявления таких особей, представляющих реальную опасность для посещающих очаги КЭ людей, мы провели изоляцию вируса из положительных по результатам ИФА клещевых суспензий на тепловую модель – лабораторных мышах. Кроме этого, учитывали изоляты РНК ВКЭ с секвенированием полного гена поверхностного белка Е непосредственно из клещевых суспензий. Из 219 положительных по результатам ИФА суспензий было получено 67 изолятов, что составило 30,6 %. Успешность изоляции сильно варьировала по годам и имела тенденцию к отрицательной связи с вирусифорностью ($r_s = -0.415$, $df = 12$) и сильную положительную корреляцию с численностью переносчика на данном маршруте ($r_s = 0.833$, $P < 0.001$, $df = 24$).

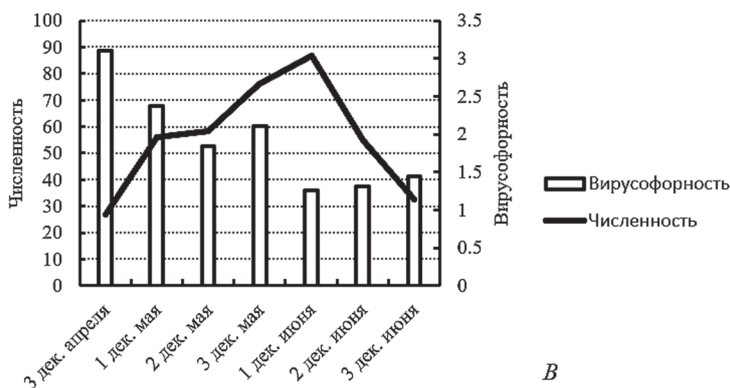
Ранее показано, что распределение зараженных ВКЭ клещей как на учетных площадках (Korenberg et al., 1992), так и вдоль линейного учетного маршрута (Ботвинкин и др., 1996) неравномерно. Эпидемиологически опасные особи клещей встречались с разной частотой не только на каждом из исследуемых участков, но и на разных маршрутах в пределах одного участка (табл. 2). За весь период исследования на участке 23 км жизнеспособный вирус выделили из трети положительных по результатам ИФА суспензий, но только из переносчиков, собранных в 2010 г. и только на одном учетном маршруте. На 43 км вирус выделялся ежегодно, и доля изолятов из положительных в ИФА суспензий составила 38.7 % с максимальным показателем в 2013 г. (15 штаммов из 18 биопроб). При этом основная часть изолятов за весь исследуемый период была получена с двух основных маршрутов (стационарные маршруты 5 и 6) и прилегающей к ним просеки ЛЭП. В совокупности эти учётные маршруты, по всей видимости, представляющие собой ядро природного очага КЭ, непосредственно примыкают к санаторию, являясь источником постоянной опасности заноса вируса



А



Б



В

Рисунок 4. Сезонная динамика активности таёжного клеща и его зараженности вирусом клещевого энцефалита. А – участок 23 км, Б – 43 км, В – 47 км. По основной вертикальной оси – показатели численности (в экз. на ф-час); по вспомогательной вертикальной оси – показатели вирусозоформности (%); по горизонтальной оси – декады сезона активности клещей (с 3 декады апреля по 3 декаду июня).

Figure 4. Seasonal trends of the taiga tick activity and its TBE infection rates. А, В and С – the 23, 43 and 47 km, respectively. The main vertical axis – abundance rates (specimen for 1 flag hour); subsidiary vertical axis – ticks infection rate (%); X-axis – decades of ticks seasonal activity (from the 3-d decade of April up to 3-d decade of June).

на территорию. На участке 47 км ВКЭ удалось изолировать значительно реже, чем на 43 км (21.8 ± 4.11 vs 38.7 ± 5.05 % случаев соответственно, $t = 2.60$, $df = 56$, $P < 0.01$) и не каждый год. Однако в течение последних трех сезонов успешность изоляции была 100-процентной, а изоляты удавалось получить практически со всех маршрутов. Вышеизложенное позволяет вынести предположение о разном состоянии клещевой части вирусных популяций на участках наблюдения.

Особенностью сезонной динамики является существенно более низкая по сравнению со средней величиной доля изолятов в 3 декаде мая – когда активность клещей близка к максимальной (15.3 ± 4.68 против 30.4 ± 3.14 %, $t = 2.68$, $df = 72$, $P < 0.01$).

Известно, что инокуляция ВКЭ происходит в течение нескольких минут после присасывания клеща. Кроме того, слюнные железы самцов иксодовых клещей обладают большими адьювантными свойствами в отношении ВКЭ (Алексеев, 1993). При этом самцы способны к многократному повторному присасыванию. Анализ частоты развития КЭ среди людей, подвергшихся нападению инфицированных по данным ИФА клещей, показал, что заболеваемость КЭ после укусов зараженных самцов была в 4.5 раза выше, чем после укусов зараженных самок, несмотря на то, что титры вируса в особях обоего пола статистически не различались (Пеньевская, 2010). Поэтому, несмотря на неспособность самцов таёжного клеща к длительному питанию, они представляют реальную опасность в качестве вектора ВКЭ. Как видно на рис. 5, соотношение полов среди имаго *I. persulcatus* в сборах было примерно равным (50.4 % самцов и 49.6 % самок; $n = 19966$). АГ ВКЭ чаще обнаруживался у самок (65.6 против 34.4 %; $n = 219$), однако вирусные изоляты достоверно чаще удавалось получать из суспензий самцов (45.3 ± 5.75 против 23.1 ± 3.52 %, $t = 3.30$, $df = 283$, $P < 0.001$); доли изолятов, полученных из самцов и самок, составили, соответственно, 50.7 и 49.3 % ($n = 65$).

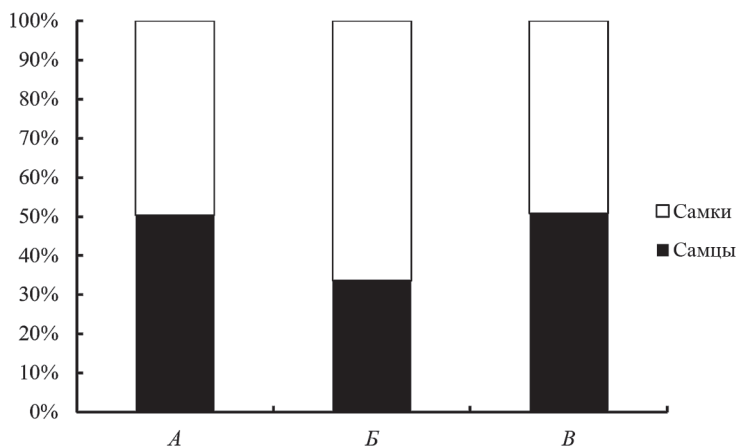


Рисунок 5. Доля (%) самцов и самок таёжного клеща в отловах (А), среди проб, положительных по результатам ИФА (Б), и в изолятах (В).

Figure 5. The taiga tick sex ratio in catches (A), ELISA-positive samples (B) and isolates (B).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты многолетнего мониторинга трёх стационарных участков в очаговом регионе КЭ пригородной зоны г. Иркутска свидетельствуют о стабильном состоянии популяций вируса и его основного переносчика – таёжного клеща. Показана высокая степень неоднородности исследованных участков по уровню обилия имаго *I. persulcatus*. Выявлено своеобразие многолетнего и сезонного изменения обилия переносчика на разных участках Байкальского тракта, что может служить показателем существования на них самостоятельных популяций. Вирусные популяции на участках наблюдения тоже имеют свою специфику. На ближайшем к городу участке (23 км), который в большой степени подвергается антропогенному прессу, обилие таёжного клеща как во все годы наблюдения в отдельности, так и за исследуемый период в целом было в два и более раз ниже, чем на 43 и 47 км. Вирусофорность клещей здесь тоже была значительно меньше, а изоляты удалось получить только в сезон 2010 г. и лишь с одного учётного маршрута. Расположенные недалеко друг от друга, но разделенные изрезанностью рельефа участки 43 и 47 км, имеют стабильно высокую численность переносчика на всех учётных маршрутах и практически не различаются по доле его зараженности ВКЭ. Однако жизнеспособный вирус ежегодно удавалось изолировать лишь с конкретных небольших участков на 43 км, которые, по всей вероятности, и являются ядром природного очага КЭ на обследуемой территории. Следует отметить важную роль самцов таёжного клеща в диссеминации ВКЭ. При практически равной их доле в сборах и гораздо большем количестве самок с выявленным антигеном вируса, изоляты на теплокровных животных значительно чаще удавалось получать из «самцовых» суспензий. Таким образом, многолетний мониторинг лесных массивов, примыкающих к Байкальскому тракту – направлению, активно используемому в туристических и рекреационных целях, – показал их значительную опасность с точки зрения заражения людей КЭ. Необходимо продолжить постоянный эколого-эпидемиологический контроль участков территории с доказанной эпидемиологической опасностью, а также расширить зону наблюдений на все точки, где фиксируется заражение людей трансмиссивными клещевыми инфекциями.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность бывшим и настоящим сотрудникам института М.А. Борзенко, Т.И. Борисовой, Д.Б. Вержуцкому, П.Е. Вершинину, М.О. Гориной, И.М. Морозову, А.Я. Никитину, А.В. Севостьяновой, Е.А. Сидоровой, Н.В. Яковщину и др., в разные годы принимавшим участие в сборе клещей и пробоподготовке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.Н. 1993. Система клещ-возбудитель и ее эмерджентные свойства. СПб., 203 с. [Alekseev A.N. 1993. Tick-tick-borne pathogen system and its emergent qualities. SPb., 203 p. (in Russian)].
- Алексеев А.Н. 2007. Современное состояние знаний о переносчиках клещевого энцефалита. Вопросы вирусологии 5: 21–26. [Alekseev A.N. 2007. Modern knowledge about tick-borne encephalitis vectors. Problems of virology 5: 21–26 (in Russian)].

- Атлас: Иркутская область (экологические условия развития). 2004. М., Иркутск, 90 с. [Atlas: Irkutsk Region (environmental developmental context). 2004. Moscow, Irkutsk, 90 p. (in Russian)].
- Атутова Ж.В. 2013. Современные ландшафты юга Восточной Сибири. Новосибирск, Академическое изд-во «Гео», 125 с. [Atutova Zh.V. 2013. Modern landscapes of the South of East Siberia. Novosibirsk, Academic publishing house "Geo", 125 p. (in Russian)].
- Бахвалова В.Н., Панов В.В., Чичерина Г.С. и др. 2011. Анализ параметров паразитарной системы клещевого энцефалита в окрестностях Новосибирска и их влияния на заболеваемость населения с 1980 по 2010 г. Современные аспекты природной очаговости болезней: материалы Всероссийской конф. с международным участием, посвящ. 90-летию ФБУН «Омский научно-исследовательский институт природноочаговых инфекций» Роспотребнадзора / Отв. ред. Н.В. Рудаков, В.К. Ястребов. Омск, ИЦ «Омский научный вестник»: 60–61. [Bahvalova V.N., Panov V.V., Chicherina G.S., et al. 2011. The analysis of the tick-borne encephalitis parasitic system parameters and their effect on human morbidity in Novosibirsk suburbs during 1980–2010. Modern aspects of natural focality of diseases. Omsk: 60. (in Russian)].
- Богомазова О.Л., Безгодов И.В., Успенский В.Б. и др. 2012. Результаты мониторинга природных очагов клещевых инфекций на западном побережье озера Байкал и острова Ольхон. Материалы X съезда ВНПОЭМП, М., 120 с. [Bogomazova O.L., Bezgodov I.V., Uspenskij V.B. et al. 2012. The results of tick-borne infections natural foci monitoring on the western Baikal coast and Olkhon Island. Materials of the Xth Congress of the Russian Microbiologists Society. Moscow, 120 p. (in Russian)].
- Ботвинкин А.Д., Мельникова О.В., Данчинова Г.А. и др. 1996. Распределение инфицированных вирусом клещевого энцефалита клещей вдоль линейного учетного маршрута. Медицинская паразитология и паразитарные болезни 3: 24–28. [Botvinkin A.D., Mel'nikova O.V., Danchinova G.A. et al. 1996. The distribution of ticks, infected with tick-borne encephalitis virus, along the linear censuring route. Medical parasitology and parasitic diseases 3: 24–28].
- Васенин А.А. 1966. Вирусологическая и эпидемиологическая характеристика очага клещевого энцефалита в юго-западной части Иркутской области. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Томск, 23 с. [Vasenin A.A. 1966. Virological and epidemiological characteristics of the tick-borne encephalitis natural focus in southern-west part of Irkutsk region. Thesis for PhD degree. Tomsk, 23 p. (in Russian)].
- Вержущий Д.Б., Вержущая Ю.А. 2015. Предварительные результаты изучения пространственной организации населения таёжного клеща *Ixodes persulcatus* по Байкальскому тракту (Южное Прибайкалье). Байкальский зоологический журнал 1 (16): 71–74. [Verzhutskij D.B., Verzhutskaya Yu.A. 2015. Preliminary results of the taiga tick *Ixodes persulcatus* spatial organization along Baikalsky road (Southern Pribaikalie). Baikal Zoological J. 1 (16): 71–74. (in Russian)].
- Вершинина Т.А., Вершинин А.А., Зазуля Г.Г. и др. 1991. Рекреационная, ландшафтно-эпидемиологическая характеристика пригородной зоны г. Иркутска. АН СССР СО Ин-т географии. Иркутск, Деп. в ВИНИТИ, № 4442-B91. [Vershinina T.A., Vershinin A.A., Zazulya G.G. et al. 1991. Recreational, landscape and epidemiological characteristics of the Irkutsk suburbs. The deposited Report N 4442-B91 of Institute of Geography USSR Academy of Sciences, Siberian branch. Irkutsk, 121 p. (in Russian)].
- Вирусология. Методы. 1988. Пер. с англ. Под ред. Б. Мейхи. М., Мир, 344 с. (Virology. A practical approach. 1985. Ed. by B.W.J Mahy. IRL Press, Oxford, Washington DC).
- Данчинова Г.А. 1990. Распределение иксодовых клещей в Предбайкалье. Успехи медицинской энтомологии и акарологии в СССР. Л.: 94–96. [Danchinova G.A. 1990. Prevalence of Ixodidae in Predbaikalie. The achievements of medical entomology and Acarology in the USSR. Leningrad, 94–96. (in Russian)].
- Данчинова Г.А. 2006. Экология иксодовых клещей и передаваемых ими возбудителей трансмиссивных инфекций в Прибайкалье и на сопредельных территориях. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Иркутск, 45 с. [Danchinova G.A. 2006. The ecology of Ixodidae ticks and transmitted diseases in Pribaikalie and contiguous territories. Thesis for Dr of Science Degree. Irkutsk, 45 p. (in Russian)].

- Данчинова Г.А., Наумов Р.Л., Лопин В.В. 1989. Многолетние изменения заболеваемости населения клещевым энцефалитом в Иркутской области. Медицинская паразитология и паразитарные болезни 1: 62–65. [Danchinova G.A., Naumov R.L., Lopin V.V. 1989. Multy-year variations of the Irkutsk region population tick-borne encephalitis morbidity. Medical parazitology and parasitic diseases 1: 62–65. (in Russian)].
- Закс Л. 1976. Статистическое оценивание. М., Статистика, 598 с. [Zaks L. 1976. The statistical estimation. Moscow, 598 p. (in Russian)].
- Ковалевский Ю.В., Коренберг Э.И., Лев М.И. и др. 1988. Факторы, определяющие возможность заражения клещевым энцефалитом. Сообщение 2. Вирусоформность переносчика в среднетаежных лесах Хабаровского края. Медицинская паразитология и паразитарные болезни 3: 22–27. [Kovalevskij Yu.V., Korenberg E.I., Lev M.I. et al. 1988. Factors determining the possibility of tick-borne encephalitis infection. 2. The virus carriage of the vector in the central taiga forests of the Khabarovsk Territory. Medical parazitology and parasitic diseases 3: 22–27. (in Russian)].
- Коренберг Э.И. 1979. Биохорологическая структура вида (на примере таёжного клеща). М., Наука, 171 с. [Korenberg E.I. 1979. Biohorological structure of the species (in the case of taiga tick). Moscow, 171 p. (in Russian)].
- Коренберг Э.И., Баннова Г.Г., Ковалевский Ю.В. и др. 1988. Внутрипопуляционные различия инфицированности взрослых *Ixodes persulcatus* P. Sch. вирусом клещевого энцефалита и оценка его суммарного содержания в клещах. Вопросы вирусологии 4: 456–460. [Korenberg E.I., Bannova G.G., Kovalevskij Yu.V. et al. 1988. Intrapopulation differences of *Ixodes persulcatus* P. Sch. adult ticks infection with tick-borne encephalitis virus and estimation of the virus content. Problems of virology 4: 456–460 (in Russian)].
- Коренберг Э.И., Ковалевский Ю.В. 1981. Районирование ареала клещевого энцефалита. Итоги науки и техники: Медицинская география. ВИНТИ. М., 11, 148 с.
- Коренберг Э.И., Помелова В.Г., Осин Н.С. 2013. Природноочаговые инфекции, передающиеся иксодовыми клещами. М., 463 с. [Korenberg E.I., Pomelova V.G., Osin N.S. 2013. Infections with Natural Focality transmitted by Ixodid ticks. Moscow, 463 p. (in Russian)].
- Коротков Ю.С. 2009. Экология таежного клеща (*Ixodes persulcatus* Schulze, 1930) в условиях изменения климата Евразии. Автореф. дис. ...докт. биол. наук. М., 46 с. [Korotkov Yu.S. 2009. The taiga tick (*Ixodes persulcatus* Schulze, 1930) ecology in conditions of the chaging Eurasia climate. Thesis for Doctor of Sc. Degree. Moscow, 46 p. (in Russian)].
- Коротков Ю.С., Буренкова Л.А., Рукавишников М.Ю. и др. 2006. Вирусоформность голодных взрослых клещей *Ixodes persulcatus* в среднетаежных лесах Карелии (северо-запад Прионежья). Медицинская вирусология XXIII: 90–94. [Korotkov Yu.S., Burenkova L.A., Rukavishnikov M.Yu. et al. 2006. The density of tick-borne encephalitis virus infected unfed *Ixodes persulcatus* imago in middle taiga of Karelia (northern-west Prionezhie). Medical virology XXIII: 90–94. (in Russian)].
- Краминский В.А. 1973. Проблемы природной очаговости клещевого энцефалита в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Доклад ... докт. мед. наук. М., 94 с. [Kraminskij V.A. 1973. The problems of tick-borne encephalitis natural focality in the Eastern Siberia and the Far East. Thesis for Doctor of Sc. Degree. Moscow, 94 p. (in Russian)].
- Маниатис Т., Фрич Э., Сэмбрук Дж. 1984. Методы генетической инженерии. Молекулярное клонирование. М., Мир, 480 с. [T. Maniatis, E.F. Fritsch, J. Sambrook. 1982. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. Cold Spring Harbor, N.Y.: Cold Spring Harbor Laboratory, 545 p.].
- Мельникова О.В. 2018. Динамика паразитарной системы клещевого энцефалита в Прибайкалье и ее влияние на заболеваемость населения. Дис. ...докт. биол. наук. Иркутск, 294 с. [Mel'nikova O.V. 2018. The tick-borne encephalitis parasitic system dynamics in Pribaikalie and its effect on morbidity. Thesis for Doctor of Sc. Degree. Irkutsk, 294 p. (in Russian)].
- Мельникова О.В., Вершинин Е.А., Корзун В.М. и др. 2014. Применение ГИС-технологий в сравнительном анализе заболеваемости трансмиссивными клещевыми инфекциями (на примере города Иркутска). География и природные ресурсы 3: 164–172. [Mel'nikova O.V., Vershinin E.A., Korzun V.M., et al. 2014. Application of GIS technology in comparative analysis of tick-borne diseases incidence (the case of Irkutsk city). Geography and Natural Resources 3: 164–172. (in Russian)].

- Пеньевская Н.А. 2010. Оценка эффективности этиотропной профилактики инфекций, передающихся иксодовыми клещами: проблемы теории и практики. Омск, ИЦ «Омский научный вестник», 232 с. [Pen'evskaya N.A. 2010. The estimation of etiotropic prophylaxis of the tick-borne infections: theoretical and practical problems. Omsk, 232 p. (in Russian)].
- Таежный клещ *Ixodes persulcatus* Schulze (Acarina, Ixodidae): морфология, систематика, экология, медицинское значение. 1985. Л., Наука, 416 с. [Taiga tick *Ixodes persulcatus* Schulze (Acarina, Ixodidae): Morphology, Systematics, Ecology, Medical importance. 1985. Leningrad, 416 p. (in Russian)].
- Филиппова Н.А. 1977. Иксодовые клещи подсем. Ixodinae (Фауна СССР. Паукообразные; IV (4)). Л., Наука, 396 с. [Filippova N.A. 1977. Ixodid ticks of subfamily Ixodinae (Fauna of USSR. Arachnoidea IV (4). Leningrad "Nauka", 396 p. (in Russian)].
- Филиппова Н.А. 1997. Иксодовые клещи подсем. Ambliominae. (Фауна России и сопредельных стран. Паукообразные; IV (5)). СПб., Наука, 436 с. [Filippova N.A. 1997. Ixodid ticks of subfamily Ambliominae. (Fauna of Russia and neighboring countries. Arachnoidea IV (5). St. Petersburg "Nauka" Publishing house, 436 p. (in Russian)].
- Adelshin R.V., Melnikova O.V., Karan L.S., et al. 2015. Complete Genome Sequences of Four European Subtype Strains of Tick-Borne Encephalitis Virus from Eastern Siberia, Russia. Genome Announcements 3 (3). e00609-15.
- Alekseev A.N., Jensen P.M., Dubinina H.V. et al. 2000. Peculiarities of behavior of taiga (*Ixodes persulcatus*) and sheep (*Ixodes ricinus*) ticks (Acarina: Ixodidae) determined by different methods. Folia parasitologica 47: 147–153.
- Hall T.A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. Nucleic Acids Symposium Series 41: 95–98.
- Korenberg E.I., Horáková M., Kovalevsky J.V., et al. 1992. Probability models of the rate of infection with tick-borne encephalitis virus in *Ixodes persulcatus* ticks. Folia parasitologica 39: 85–92.

THE MULTI-YEAR MONITORING OF THE TICK–PATHOGEN SYSTEM IN NATURAL FOCI OF TICK-BORNE ENCEPHALITIS IN IRKUTSK SUBURBS

O. V. Mel'nikova, E. A. Vershinin, Yu. A. Verzhutskaya, V. M. Korzun,
R. V. Adel'shin, Yu. N. Trushina, E. I. Andaev

Keywords: taiga tick *Ixodes persulcatus*, tick-borne encephalitis virus (TBEV), abundance, infection rate, isolates

SUMMARY

During 15 seasons (2005–2019) monitoring of natural tick-borne encephalitis (TBE) foci state was held on several key plots of the popular recreational and touristic way Irkutsk–Baikal along the road 25K-011. The evidence of stable state of viral and vector populations was provided. High degree of diversity of the investigated plots by level of *Ixodes persulcatus* imago numbers and peculiarities of its multi-year and seasonal dynamics was shown. Spatial and temporal differences in ticks infection rate as well as lack of trend for the infection rate change during the observed period. The lack of correlation between multi-year abundance of the vector and its infection rate was found. The significant role of the taiga tick males in dissemination of the TBE virus has been highlighted.