

## Применение дистанционного спутникового мониторинга для контроля и прогноза заболеваемости природно-очаговыми трансмиссивными инфекциями

А.Е. Платонов, К.А. Гриднева, В.А. Долгин, Н.М. Колясникова,  
О.В. Платонова, А.В. Титков

*Центральный НИИ эпидемиологии Роспотребнадзора, Москва, Россия*  
*E-mail: platonov@pcr.ru*

В обзоре рассматривается влияние климатических и экологических факторов на эпидемиологию шести основных природно-очаговых трансмиссивных инфекций в России (клещевого вирусного энцефалита, иксодовых клещевых боррелиозов, сибирского клещевого тифа, Астраханской риккетсиозной лихорадки, Крымской геморрагической лихорадки и лихорадки Западного Нила). Данные наблюдений и результаты моделирования привлечены для выявления наиболее значимых факторов, способствующих распространению инфекции и росту числа клинических случаев заболевания. Обсуждено использование методов спутникового дистанционного мониторинга для оценки значений подобных факторов. Мы полагаем, что в ближайшем будущем должно быть усилено применение дистанционного зондирования Земли из космоса в эпидемиологических и медицинских целях, особенно для прогноза эпидемических вспышек и эпидемий трансмиссивных инфекций.

**Ключевые слова:** дистанционный мониторинг, эпидемиология, экология, климат, природно-очаговые инфекции, контроль, прогнозирование.

### Введение

Природно-очаговые инфекции – это инфекционные болезни, возбудители которых способны неопределенно долго циркулировать в природных биоценозах за счет непрерывного эпизоотического процесса среди животных – доноров, переносчиков и реципиентов. Механизмы передачи возбудителя человеку могут быть различными: трансмиссивный (через членистоногих кровососущих переносчиков), контактный (через соприкосновение с тканями зараженного животного или зараженными абиотическими объектами), аспирационный (чаще через вдыхание частичек пыли, зараженных выделениями животных, и т.п.). Для многих, хотя и не для всех, природно-очаговых инфекций человек является естественным «тупиком» эпидемического процесса, т.е. от человека к человеку возбудители не передаются. Многообразие и богатство природы в России отражается, к сожалению, и в обилии различных природно-очаговых инфекций, угрожающих здоровью и благополучию практически всего населения. В последнее время одной из наиболее массовых природно-очаговых инфекций в РФ является хантавирусная геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС), резервуаром и источником возбудителя которой служат грызуны. В год регистрируется около 7000 случаев заболевания ГЛПС и около 30 смертей от ГЛПС (Платонов и др., 2009; Gaganina et al., 2009). Однако в целом в структуре заболеваемости природно-очаговыми трансмиссивными инфекциями в России преобладают инфекции, переносимые клещами, такие как клещевой вирусный энцефалит (КВЭ), иксодовые клещевые боррелиозы (ИКБ), сибирский клещевой тиф (СКТ), астраханская риккетсиозная лихорадка (АРЛ) и крымская геморрагическая лихорадка (КГЛ).

Возбудителем КВЭ является вирус клещевого энцефалита (КВЭ), принадлежащий роду *Flavivirus* и переносимый таежным клещом *Ixodes persulcatus* и лесным клещом *Ixodes ricinus*. В год регистрируется более 3000 случаев заболевания КВЭ и 50 смертей от КВЭ. Ареал КВЭ включает не менее 45 из 83 субъектов РФ (Платонов, 2003; Погодина и др., 2004). Теми же видами клещей переносятся и патогенные боррелии группы *Borrelia burgdorferi sensu lato* – возбудители ИКБ. Недавно российскими учеными был открыт и другой, «новый» возбудитель ИКБ – боррелия вида *Borrelia miyamotoi* (Platonov et al., 2011; Сарксян и др., 2012; Platonov et al., 2013). В среднем в РФ регистрируется около 8000 заболеваний ИКБ в год; ареал ИКБ распространяется более чем на 67 субъектов РФ, расположенных в зоне умеренного климата европейской и азиатской части страны. Летальность при ИКБ отсутствует, но нередки случаи хронизации заболевания, сопровождающиеся поражением суставов, кожи или центральной нервной системы. Среди клещевых пятнистых лихорадок, распространенных в России, следует упомянуть СКТ и АРЛ, которые вызываются риккетсиями рода *Rickettsia* и переносятся, в первую очередь, клещами рода *Dermacentor* и рода *Rhipicephalus*, соответственно. В год регистрируется более 1600 заболеваний СКТ в Сибири и на Дальнем Востоке и более 200 случаев АРЛ в Астраханской области.

КГЛ – вирусная инфекция, отнесенная к группе особо опасных. Переносчиками вируса КГЛ являются многие виды иксодовых клещей рода *Hyalomma*. В XXI в. в России, в Турции и на Балканах резко возросла заболеваемость КГЛ и расширился ареал этой «субтропической» инфекции, что связывают с эффектами потепления климата (Куличенко и др., 2012; Maltezos et al., 2010). В РФ регистрируется в среднем 140 заболеваний КГЛ и четыре смерти от КГЛ в год.

Из инфекций, переносимых комарами, в России наиболее изучена ЛЗН, вирус которой сохраняется в энзоотическом цикле, главным образом, между птицами и комарами рода *Culex* (Fyodorova et al., 2006). Кроме собственно лихорадочной формы, заболевание может протекать в менингеальной и энцефалитической формах. Летальность при ЛЗН в последние годы составляет около 2%. Эпидемиология ЛЗН в странах умеренного климата характеризуется сменой лет с почти отсутствующей заболеваемостью на годы резкого эпидемического подъема, за которым вновь следует спад. На юге России крупнейшие вспышки ЛЗН, потребовавшие стационарного лечения сотен и тысяч больных, имели место в 1999, 2007, 2010 и 2012 гг. (Platonov et al., 2001; Platonov, 2001; Платонов и др., 2011). Примечательно, что годы с максимальной заболеваемостью ЛЗН были и годами с наивысшими летними температурами за последние 100–150 лет. Предположительно, высокие летние температуры способствуют увеличению популяции комаров *Culex* и размножению в них вируса ЛЗН (Platonov et al., 2008; Платонов, 2006).

По своей природе как вышеперечисленные, так и остальные клещевые и «комариные» инфекции являются экологически зависимыми. В ситуации, когда во многих регионах мира наблюдаются изменения экологических и погодных условий и ожидаются долгосрочные климатические изменения, это вызывает естественную озабоченность, требующую, среди прочего, интенсификации научных исследований. Следует иметь в виду,

что, кроме непосредственной угрозы здоровью населения, природно-очаговые и зоонозные заболевания приносят и существенный экономический ущерб, который составил, по оценкам, около 120 млрд. долл. за период с 1995 по 2008 г. (Cascio et al., 2011). В работе (Semenza et al., 2012), основанной на опросе экспертов из 30 европейских стран, подчеркивается, что большинство из них обеспокоены наблюдаемыми и ожидаемыми тенденциями роста экологически зависимых заболеваний. В России попытки формализованного анализа связи экологических условий и заболеваемости трансмиссивными инфекциями пока редки (Бериков и др., 2011; Василенко и др., 2013; Платонов, 2006). Поэтому в обзоре мы обратимся к мировому опыту с целью определить место и функции дистанционных методов в системах эпидемиологического надзора и экологического мониторинга.

### **Что, зачем и как можно наблюдать на Земле из космоса с целью контроля инфекционных заболеваний?**

Проблема влияния климатических и экологических факторов на заболеваемость природно-очаговыми трансмиссивными инфекциями была сформулирована на рубеже тысячелетий в «классических» работах (Githeko et al., 2000; Gubler et al., 2001; Kovats et al., 2001; Lindgren, Gustafson, 2001; Patz et al., 1998; Thomson, Connor, 2000). В это время еще дискутировались вопросы о том, существенно ли воздействие климатических изменений на заболеваемость трансмиссивными инфекциями по сравнению с другими факторами, сильно ли эти изменения влияют на экологию членистоногих переносчиков, можно ли на основании погодных условий прогнозировать развитие эпидемической ситуации по конкретной инфекции в конкретном году и т.п. Подчеркивалось, что ответы на эти вопросы требуют систематических долгосрочных, но частых наблюдений с необходимым пространственным разрешением на всех континентах. Уже на этом этапе было высказано мнение о необходимости привлечения ГИС-технологий и методов дистанционного мониторинга (Thomson, Connor, 2000). Были предложены и конкретные показатели, которые могут быть использованы в прогнозе. Так, по данным о заболеваемости КВЭ в округе Стокгольм в 1960–1998 гг., рост заболеваемости коррелировал с двумя последовательными мягкими зимами, предшествующими «прогнозируемому» эпидемическому сезону, с теплой весной и осенью (Lindgren, Gustafson, 2001).

В последние годы большинство специалистов согласны с тем, что некоторые долгосрочные тренды в динамике заболеваемости и изменения ареала ряда инфекций (лихорадка чикунгунья и долины Рифт, катаральной лихорадки овец, ЛЗН, КВЭ и ИКБ), в частности, расширение их к северу и вверх от уровня моря, могут трактоваться как результат климатических и экологических изменений. Так, например, за последние 30 лет, характеризующихся потеплением, возросло обилие клеща *I. ricinus* в южной и центральной Швеции, ареал этого вида включил и большую часть северной Швеции. При этом мягкие зимы, ранняя весна, теплый и влажный летне-осенний период 2011–2012 гг. способствовал выживанию и размножению клещей, повышению уровня их инфицированности и продлению эпидемического сезона. Это отразилось в росте заболеваемости инфекциями, переносимыми клещами вида

*I. ricinus*, – КВЭ и ИКБ – в Швеции (Jaenson et al., 2012; Jaenson, Lindgren, 2011). Сходные процессы наблюдаются в Швейцарии, Чехии, Словакии, Боснии, Венгрии, Великобритании, Дании, Норвегии и других европейских странах (Medlock et al., 2013). Прогнозируется расширение и / или сдвиг к северу ареалов клещей, принадлежащих и к другим родам (*Dermacentor*; *Hyalomma* и пр.) (Gray et al., 2009). Следует, однако, учитывать, что влияние климато-экологических изменений дополняется и модифицируется влиянием антропогенных факторов и эффектами климатически независимой эволюции патогенов и их переносчиков, а также особенностями трудовой и рекреационной активности людей (Jaenson et al., 2012; Kilpatrick, Randolph, 2012; Mills et al., 2010).

Однако, по мнению авторов аналитических публикаций, методы краткосрочного эпидемиологического прогноза (на предстоящий год или будущий месяц), учитывающие погодные факторы и состояние окружающей среды в целом, хотя и предложены в отдельных исследованиях, но надлежащим образом не испытаны и, тем более, не внедрены в практику. Ряд авторов проводит различие между «статистическими» и «биологическими» прогностическими моделями. Первые основаны на использовании связей между заболеваемостью и климато-экологическими показателями, формально выявляемыми математическими методами. Биологические соображения в них привлекаются лишь для качественной интерпретации выводов модели. Модели второго типа начинают, напротив, с выявляемых в экспериментах или наблюдениях связей биологии патогенов и их переносчиков с климато-экологическими показателями, а затем из этих связей выстраивается формализованная математическая модель (Estrada-Pena, Ayllon, 2012; Gould, Higgs, 2009). Мы полагаем, что в настоящий момент исходных данных для адекватных биологических моделей явно недостаточно, поэтому будем рассматривать спутниковый мониторинг как инструмент оценки показателей, необходимых для статистических моделей.

В настоящее время спутниковый дистанционный мониторинг применяется в основном для анализа и прогноза инфекционных болезней в Африке, где практически отсутствуют «наземные» санитарно-эпидемиологические службы. Получены интересные результаты по прогнозированию вспышек лихорадки долины Рифт (способствующие факторы – аномальные дожди и бурное развитие растительности) и лихорадки чикунгунья (способствующие факторы – аномально высокие температуры и засуха) (Anyamba et al., 2012) и роста заболеваемости малярией (с комплексным учетом осадков, температуры, влажности и вегетации (индексы NDVI и NDWI), а также наличия близко расположенных мелких водоемов, выявляемых и картографируемых на основе спутниковых данных) (Dambach et al., 2012; Machault et al., 2012). Аналогичным образом мониторинг образования небольших озер используется для оценки риска вспышек лихорадки долины Рифт (Marechal et al., 2008; Tougre et al., 2009). Для провинции Шаньдун Китая с помощью дистанционных методов и ГИС-технологий были построены карты зон риска высокой заболеваемости геморрагической лихорадкой с почечным синдромом (Wei et al., 2011).

В работе (Chen et al., 2012) с использованием математического моделирования и ГИС-технологий была рассмотрена заболеваемость восемью инфекционными болезнями во всех 352 поселениях Тайваня за 1994–2008 г. Риск «комариных» трансмиссивных

инфекций – лихорадки денге и японского энцефалита – был ниже «обычного» в дни с минимальным уровнем осадков (< 130 мм) и выше в дни с осадками в диапазоне 200–350 мм, но не в самые дождливые дни (> 350 мм). Для клещевой лихорадки цуцугамуши такого влияния количества осадков не было выявлено. Что касается анализа и предсказания эффекта климатических влияний, была, например, исследована зависимость обилия нимф клеща *I. ricinus* от типа растительности и погодных условий в 2008–2010 гг. в Германии. Мягкая зима 2008 г. (средняя температура 1–2 °С) отразилась в большем количестве клещей в июле–августе. Предпочтительным типом растительности для клещей был древесный подрост, а не спелые леса (Lauterbach et al., 2013). N.H.Ogden с соавторами предпринял попытку, основываясь на основных сценариях климатических изменений, ожидаемых к 2020, 2050 и 2080 гг., предсказать распространение клеща *I. scapularis*, переносчика возбудителей ИКБ в Северной Америке (Ogden et al., 2008; Wu et al., 2013). Группа исследователей из Великобритании, Франции и Испании построила ретроспективную и проспективную модели риска для катаральной лихорадки овец (блутонг) на периоды 1961–2010 и 2011–2060 гг., учитывающие климатические изменения, привязанные к географическим координатам. Ретроспективная модель успешно описывала динамику заболеваемости, в том числе «предсказала» имевшую место в реальности крупную вспышку в северо-западной Европе в 2006 г. Примечательно, что выявленные факторы риска на севере и юге совпадали не полностью. Для прогноза на будущее было использовано 11 различных климатических сценариев: все они предсказывали рост заболеваемости в большей части Европы, хотя величина прироста варьировала (Guis et al., 2012).

Эти работы рассматривают связь эпидемического процесса с экологическими и климатическими факторами на примере природно-очаговых трансмиссивных инфекций, не распространенных в РФ, и / или в экологических условиях, не свойственных РФ. Поэтому прямой перенос полученных в них результатов и некритическое использование предложенных методик невозможно. Однако принципиально важно, что данные, необходимые для подобных аналитических и прогностических моделей, накоплены Институтом космических исследований РАН для всей территории РФ за 2001–2013 гг. и продолжают ежедневно собираться и анализироваться в динамическом режиме (Барталев и др., 2012; Барталев и др., 2008; Platonov et al., 2013).

Сравнительно небольшое число работ рассматривают сходные с российскими климато-экологические условия и близкие проблемы. Так, в работе (Andreassen et al., 2012) зараженность нимф *I. ricinus* ВКЭ в семи исследованных очагах в Норвегии варьировала от 0,1 до 1,2% и коррелировала, с одной стороны, с заболеваемостью КВЭ, а с другой стороны, с высокой относительной влажностью и низкими значениями дефицита насыщения. Однако по бельгийским данным (Li et al., 2012) влияние дневной температуры и относительной влажности на количество голодных нимф клеща *I. ricinus* весьма невелико, а на количество голодных взрослых особей эти факторы вообще не влияют. Большее значение, по мнению S. Li, имеет фрагментация лесного ландшафта, когда лесная растительность разнообразных типов представлена небольшими островками с вытянутым или изрезанным контуром. В контексте тематики нашего обзора существенно, что подобные исследования

строятся на сопоставлении данных дистанционного мониторинга и результатов наземных энтомологических наблюдений.

В публикации (Daniel et al., 2010) описаны сравнительно простые модели, зависящие только от порядкового номера календарного дня, средней дневной температуры, относительной влажности или количества осадков, предназначенные для предсказания активности нападения клещей *I. ricinus* на человека. Модель реализована в виде программного продукта, который использует краткосрочный (на один–четыре дня) метеорологический прогноз для оценки риска заражения ВКЭ в ближайшие дни в Чехии; этот прогноз, сопровождаемый рекомендациями для населения, выкладывается на интернет-сайте. Такое практическое применение надо рассматривать как ориентир для моделирования, учитывающего, в частности, данные регулярного спутникового мониторинга фенологической динамики растительного покрова (Медведева и др., 2008).

В отношении клещевых риккетсиозов на юге Европы, у которых возбудители, переносчики и эпидемиологические характеристики в целом сходны с таковыми у АРЛ, также высказаны предположения о климатической зависимости. Для дистанционного поиска участков, благоприятствующих переносчикам средиземноморской клещевой пятнистой лихорадки, клещам *Rh. sanguineus*, была предложена и испытана методика, использующая изображения, получаемые со спутника Landsat и несущие информацию о влажности почвы, обилии растительности и других параметрах. С помощью методики были успешно картографированы реальные места обитания клещей *Rh. sanguineus* в Сарагосе, но не выявлены благоприятные места в Берлине, где эти клещи в природе отсутствуют (Gray et al., 2013).

Заболеваемость КГЛ в Болгарии в 1997–2009 г. была слабо, но статистически значимо связана с более высокими показателями температуры и NDVI в летние месяцы. В отличие от Болгарии, анализ данных по Турции, полученных, в том числе, с применением методов дистанционного мониторинга, не выявил связи заболеваемости КГЛ с летними температурами и индексом NDVI. Более существенным фактором был тип ландшафта: так называемый «фрагментированный, саванно-подобный» тип (смесь пастбищ и кустарников) чаще выявлялся в очагах КГЛ (Vescio et al., 2012; Estrada-Pena et al., 2007; Estrada-Pena et al., 2010).

В случае ЛЗН рассматривают либо прямой эффект климатических и экологических условий на число клинических случаев заболевания, либо их влияние на численность и степень инфицированности комаров-переносчиков. Заболеваемость ЛЗН в северо-восточных штатах США оказалась связана с таким экологическим фактором, как степень урбанизации территории: наивысшей была заболеваемость в регионах, где лесом было покрыто менее 38% территории, а собственно города занимали более 15% площади (Brown et al., 2008). Дискриминантный анализ характеристик регионов с низкой, средней и высокой заболеваемостью ЛЗН в канадской провинции Саскачеван в 2003 и 2007 гг. выявил следующие факторы риска: малое количество осадков в июне–июле и высокие температуры в июле–августе (Err et al., 2009). По данным, полученным в Иллинойсе, величина накопленных температур (выше 22 °С) наилучшим образом дифференцировала годы с высокой заболеваемостью и высоким индексом инфицированности комаров рода *Culex*. Засушливая весна,

за которой следовало влажное лето, также способствовали распространению инфекции, но в меньшей степени. В пространственном аспекте для участков с высокой заболеваемостью и инфицированностью комаров было типично меньшее количество летних осадков (Ruiz et al., 2010). Во время вспышки ЛЗН в 2010 г. в Европе заболеваемость коррелировала с температурой и, в меньшей степени, с относительной влажностью. Связи с количеством осадков не было обнаружено. При этом на юге Европы средняя температура и число случаев ЛЗН в неделю коррелировали непосредственно, а для севера важнее был показатель температуры за четыре недели до момента регистрации случаев ЛЗН (Paz et al., 2013).

Подобные зависимости открывают возможность создания моделей, которые на основании данных, ежедневно собираемых для большой территории методом дистанционного спутникового мониторинга, прогнозируют число клинических случаев ЛЗН (Chuang, Wimberly, 2012) и риск инфицирования ЛЗН, связанный с обилием комаров родов *Culex* и *Aedes* (Chuang et al., 2012). Для предсказания заболеваемости были отобраны такие показатели, как повышенная по сравнению со среднегодовыми значениями температура (ранней весной и летом), раннее появление зеленой растительности (значения индекса NDVI весной) и повышенное испарение воды почвой и листьями (эвапотранспирация) поздней весной и в начале лета. Для предсказания обилия комаров можно использовать величины температуры и влажности почвы, а также характеристики густоты растительности (в микроволновом диапазоне).

## Заключение

Итак, заболеваемость природно-очаговыми инфекциями, несомненно, зависит от ряда экологических и климатических факторов. Современные методические подходы к изучению такого влияния, не отменяя, но дополняя традиционные эпидемиологические методы, включают математическое моделирование, картографирование и прогнозирование, в том числе с использованием данных, полученных путем дистанционного спутникового мониторинга. Применение дистанционного зондирования особенно оправданно в России с ее огромной территорией, где не везде созданы условия для качественного и своевременного «наземного» эпидемиологического надзора. К существенным свойствам местности, где может произойти заражение, относятся характеристики растительности, как относительно стабильные (площадь, занимаемая определенными типами растительности, степень ее фрагментации и т.п.), так и ежедневно меняющиеся (показатели вегетации, испарения воды листвой деревьев и травой и т.п.). Необходимо принимать во внимание географические и гидрологические данные – близость небольших поселений, городов, дорог, наличие и тип водоёмов, степень их наполнения или пересыхания. Из климатических показателей наиболее изучено влияние элементарных – средних, максимальных и минимальных суточных температур, относительной влажности, количества осадков. Впрочем, можно ожидать, что и влияние этих основных показателей будет наиболее сильным. В российских условиях на выживание комаров и клещей зимой может влиять также глубина и степень промерзания

почвы. Следует учитывать как текущие значения показателей, так и их усредненные и / или накопленные значения за определенный период. В целом в мировой науке, а в последние годы и в практике применение методов дистанционного мониторинга в эпидемиологических целях является новой и быстро растущей областью, но в России подобные исследования пока не проводились. Необходима интенсификация исследований, проводимых с опорой на международный опыт, но учитывающих специфику эпидемической ситуации, климатических и экологических условий в РФ.

В настоящий момент ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора и Институт космических исследований РАН приступили к выполнению пилотного проекта по Госконтракту 14.515.11.0011, заключенному с Министерством образования и науки РФ, целью которого является создание научно-технического задела в области анализа влияния климатических изменений, погодных условий и экологических факторов на заболеваемость природно-очаговыми трансмиссивными инфекциями.

### **Выражение признательности**

Эта работа выполнена в рамках проекта Минобрнауки 14.515.11.0011 и была частично поддержана Европейской комиссией в рамках проекта FP7-261391 EuroWestNile. Авторы благодарны также Е.А. Лупяну, С.А. Барталеву и В.А. Толпину за плодотворное сотрудничество и воодушевляющую поддержку.

### **Литература**

1. *Барталев С.А., Жижин М.Н., Лупян Е.А. и др.* Возможности исследований влияния изменений климата на состояние растительного покрова: концепция проекта CLIVT // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5. Т. II. С. 272–278.
2. *Барталев С.А., Ершов Д.В., Лупян Е.А. и др.* Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 49–56.
3. *Бериков В.Б., Лбов Г.С., Полякова Г.Л. и др.* Анализ факторов, влияющих на заболеваемость клещевым энцефалитом, с использованием логико-вероятностных и корреляционно-регрессивных моделей // Эпидем. и вакцинопроф. 2011. № 6 (61). С. 25–34.
4. *Василенко Н.Ф., Платонов А.Е., Шаяхметов О.Х. и др.* Районирование территории Ставропольского края по степени активности природного очага Крымской геморрагической лихорадки // Эпидемиол. и инфекц. бол. Акт. вопр. 2013. (в печати).
5. *Куличенко А.Н., Малецкая О.В., Василенко Н.Ф. и др.* Крымская геморрагическая лихорадка в Евразии в XXI веке: эпидемиологические аспекты // Эпидемиол. и инфекц. бол. Акт. вопр. 2012. № 3. С. 42–53.

6. *Медведева М.А., Барталев С.А., Лупян Е.А. и др.* Возможности оценки момента наступления вегетационного сезона на основе спутниковых и метеорологических данных // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2008. Вып. 5. Т. II. С. 313–321.
7. *Платонов А.Е.* Арбовирусные инфекции как проблема и вызов // *Эпидем. и вакцинопроф.* 2003. № 6. С. 27–31.
8. *Платонов А.Е.* Влияние погодных условий на эпидемиологию трансмиссивных инфекций (на примере лихорадки Западного Нила в России) // *Вестник РАМН*. 2006. № 2. С. 25–29.
9. *Платонов А.Е., Карань Л.С., Гаранина С.Б. и др.* Природно-очаговые инфекции в XXI веке в России // *Эпидемиол. и инфекц. бол.* 2009. № 2. С. 30–35.
10. *Платонов А.Е., Карань Л.С., Шопенская Т.А. и др.* Генотипирование штаммов вируса лихорадки Западного Нила, циркулирующих на юге России, как метод эпидемиологического расследования: принципы и результаты // *Журн. микробиол.* 2011. № 2. С. 29–37.
11. *Погодина В.В., Бочкова Н.Г., Карань Л.С. и др.* Сравнительный анализ вирулентности сибирского и дальневосточного подтипов вируса клещевого энцефалита // *Вопр. вирусол.* 2004. Т. 49. № 6. С. 24–30.
12. *Сарксян Д.С., Платонов А.Е., Карань Л.С. и др.* Клинические особенности «нового» клещевого боррелиоза, вызываемого *Borrelia miyamotoi* // *Тер. архив*. 2012. № 11. С. 34–41.
13. *Andreassen A., Jore S., Cuber P. et al.* Prevalence of tick borne encephalitis virus in tick nymphs in relation to climatic factors on the southern coast of Norway // *Parasit. Vectors*. 2012. V. 5. P. 177.
14. *Anyamba A., Linthicum K.J., Small J.L. et al.* Climate teleconnections and recent patterns of human and animal disease outbreaks // *PLoS Negl. Trop. Dis.* 2012. V. 6. No. 1. e1465.
15. *Brown H.E., Childs J.E., Diuk-Wasser M.A. et al.* Ecological factors associated with West Nile virus transmission, northeastern United States // *Emerg. Infect. Dis.* 2008. V. 14. No. 10. P. 1539–1545.
16. *Cascio A., Bosilkovski M., Rodriguez-Morales A.J. et al.* The socio-ecology of zoonotic infections // *Clin. Microbiol. Infect.* 2011. V. 17. No. 3. P. 336–342.
17. *Chen M.J., Lin C.Y., Wu Y.T. et al.* Effects of extreme precipitation to the distribution of infectious diseases in Taiwan, 1994–2008. // *PLoS One*. 2012. V. 7. No. 6. P. 346–351.
18. *Chuang T.W., Wimberly M.C.* Remote sensing of climatic anomalies and West Nile virus incidence in the northern Great Plains of the United States // *PLoS One*. 2012. V. 7. No. 10. P. 468–482.
19. *Chuang T.W., Henebry G.M., Kimball J.S. et al.* Satellite microwave remote sensing for environmental modeling of mosquito population dynamics // *Remote Sens. Environ.* 2012. V. 125. P. 147–156.
20. *Dambach P., Machault V., Lacaux J.P. et al.* Utilization of combined remote sensing techniques to detect environmental variables influencing malaria vector densities in rural West Africa // *Int. J. Health Geogr.* 2012. V. 11. P. 8.
21. *Daniel M., Vrablik T., Valter J. et al.* The TICKPRO computer program for predicting *Ixodes ricinus* host-seeking activity and the warning system published on websites // *Cent. Eur. J. Public Health*. 2010. V. 18. No. 4. P. 230–236.

22. *Epp T.Y., Waldner C.L., Berke O.* Predicting geographical human risk of West Nile virus-Saskatchewan, 2003 and 2007 // *Can. J. Public Health.* 2009. V. 100. No. 5. P. 344–348.
23. *Estrada-Pena A., Ayllon N.* Impact of climate trends on tick-borne pathogen transmission // *Front. Physiol.* 2012. No. 3. P. 64.
24. *Estrada-Pena A., Vatansever Z., Gargili A. et al.* An early warning system for Crimean-Congo haemorrhagic fever seasonality in Turkey based on remote sensing technology // *Geospat. Health.* 2007. V. 2 (1). P. 127–135.
25. *Estrada-Pena A., Vatansever Z., Gargili A. et al.* The trend towards habitat fragmentation is the key factor driving the spread of Crimean-Congo haemorrhagic fever // *Epidemiol. Infect.* 2010. V. 138 (8). P. 1194–1203.
26. *Fyodorova M.V., Bulgakova T.A., Platonova O.V. et al.* Evaluation of potential West Nile virus vectors in Volgograd region, Russia, 2003 (Diptera: Culicidae): species composition, blood-meal host utilization, and virus infection rates of mosquitoes // *J. Med. Entomol.* 2006. V. 43. No. 3. P. 552–563.
27. *Garanina S.B., Platonov A.E., Zhuravlev V.I. et al.* Genetic diversity and geographic distribution of hantaviruses in Russia // *Zoonoses and Public Health.* 2009. V. 56. No. 6–7. P. 297–309.
28. *Githeko A.K., Lindsay S.W., Confalonieri U.E. et al.* Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis // *Bull. World Health Organ.* 2000. V. 78. No. 9. P. 1136–1147.
29. *Gould E.A., Higgs S.* Impact of climate change and other factors on emerging arbovirus diseases // *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 2009. V. 103. No. 2. P. 109–121.
30. *Gray J.S., Dautel H., Estrada-Pena A. et al.* Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe // *Interdiscip. Perspect. Infect. Dis.* 2009. V. 2009: 593232.
31. *Gray J., Dantas-Torres F., Estrada-Pena A. et al.* Systematics and ecology of the brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus* // *Ticks Tick Borne Dis.* 2013. V. 4. No. 3. P. 171–180.
32. *Gubler D.J., Reiter P., Ebi K.L. et al.* Climate variability and change in the United States: potential impacts on vector and rodent-borne diseases // *Environ. Health Perspect.* 2001. V. 109 (Suppl 2). P. 223–233.
33. *Guis H., Caminade C., Calvete C. et al.* Modelling the effects of past and future climate on the risk of bluetongue emergence in Europe // *J. R. Soc. Interface.* 2012. V. 9. No. 67. P. 339–350.
34. *Jaenson T.G., Lindgren E.* The range of *Ixodes ricinus* and the risk of contracting Lyme borreliosis will increase northwards when the vegetation period becomes longer // *Ticks Tick Borne Dis.* 2011 V. 2. No. 1. P. 44–49.
35. *Jaenson T.G., Hjertqvist M., Bergstrom T. et al.* Why is tick-borne encephalitis increasing? A review of the key factors causing the increasing incidence of human TBE in Sweden // *Parasit. Vectors.* 2012. V. 5. P. 184.
36. *Kilpatrick A.M., Randolph S.E.* Drivers, dynamics, and control of emerging vector-borne zoonotic diseases // *Lancet.* 2012. V. 1. No. 380 (9857). P. 1946–1955.
37. *Kovats R.S., Campbell-Lendrum D.H., McMichael A.J. et al.* Early effects of climate change: do they include changes in vectorborne disease? // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 2001. V. 29. No. 356 (1411). P. 1057–1068.

38. *Lauterbach R., Wells K., O'Hara R.B. et al.* Variable strength of forest stand attributes and weather conditions on the questing activity of *Ixodes ricinus* ticks over years in managed forests // *PLoS One*. 2013. V. 8. No. 1. P. 553–565.
39. *Li S., Heyman P., Cochez C. et al.* A multi-level analysis of the relationship between environmental factors and questing *Ixodes ricinus* dynamics in Belgium // *Parasit. Vectors*. 2012. No. 5. P. 149.
40. *Lindgren E., Gustafson R.* Tick-borne encephalitis in Sweden and climate change // *Lancet* 2001. V. 7. No. 358 (9275). P. 16–18.
41. *Machault V., Vignolles C., Pages F. et al.* Risk mapping of *Anopheles gambiae* s.l. densities using remotely-sensed environmental and meteorological data in an urban area: Dakar, Senegal // *PLoS One*. 2012. V. 7. No. 11. e50674.
42. *Maltezou H.C., Andonova L., Andraghetti R. et al.* Crimean-Congo hemorrhagic fever in Europe: current situation calls for preparedness // *Euro Surveill.* 2010. V. 15. No. 10. P. 48–51.
43. *Marechal F., Ribeiro N., Lafaye M. et al.* Satellite imaging and vector-borne diseases: the approach of the French National Space Agency (CNES) // *Geospat. Health*. 2008. V. 3. No. 1. P. 1–5.
44. *Medlock J.M., Hansford K.M., Bormane A. et al.* Driving forces for changes in geographical distribution of *Ixodes ricinus* ticks in Europe // *Parasit. Vectors*. 2013. V. 6. P. 1.
45. *Mills J.N., Gage K.L., Khan A.S.* Potential influence of climate change on vector-borne and zoonotic diseases: a review and proposed research plan // *Environ. Health Perspect.* 2010. V. 118. No. 11. P. 1507–1514.
46. *Ogden N.H., St-Onge L., Barker I.K. et al.* Risk maps for range expansion of the Lyme disease vector, *Ixodes scapularis*, in Canada now and with climate change // *Int. J. Health Geogr.* 2008. V. 7. P. 24.
47. *Patz J.A., Martens W.J., Focks D.A. et al.* Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change // *Environ. Health Perspect.* 1998. V. 106. No. 3. P. 147–153.
48. *Paz S., Malkinson D., Green M.S. et al.* Permissive summer temperatures of the 2010 European West Nile fever upsurge // *PLoS One*. 2013. V. 8. No. 2. P. 563–598.
49. *Platonov A.E., Shipulin G.A., Shipulina O.Yu. et al.* Outbreak of West Nile virus infection, Volgograd region, Russia, 1999 // *Emerg. Infect. Dis.* 2001. V. 7. No. 1. P. 128–132.
50. *Platonov A.E.* West Nile encephalitis in Russia 1999-2001: were we ready? are we ready? // *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2001. V. 951. P. 102–116.
51. *Platonov A.E., Fedorova M.V., Karan L.S. et al.* Epidemiology of West Nile infection in Volgograd, Russia, in relation to climate change and mosquito (Diptera: Culicidae) bionomics // *Parasitol. Res.* 2008. V. 103. Suppl. 1. P. 45–53.
52. *Platonov A.E., Karan L.S., Kolyasnikova N.M. et al.* Humans infected with the relapsing fever spirochete *Borrelia miyamotoi*, Russia // *Emerg. Infect. Dis.* 2011. V. 17. No. 10. P. 1816–1822.

53. *Platonov A.E., Bartalev S.A., Titkov A.V. et al.* Ecological and climatic conditions matched with human cases of *Borrelia miyamotoi* infection in Russia // Abstracts of 13th International Conference on Lyme Borreliosis and other Tick-Borne Diseases; Boston, August 17–21, 2013.
54. *Ruiz M.O., Chaves L.F., Hamer G.L. et al.* Local impact of temperature and precipitation on West Nile virus infection in *Culex* species mosquitoes in northeast Illinois, USA // *Parasit. Vectors.* 2010. V. 3. No. 1. P. 19.
55. *Semenza J.C., Suk J.E., Estevez V. et al.* Mapping climate change vulnerabilities to infectious diseases in Europe // *Environ. Health Perspect.* 2012. V. 120. No. 3. P. 385–392.
56. *Thomson M.C., Connor S.J.* Environmental information systems for the control of arthropod vectors of disease // *Med. Vet. Entomol.* 2000. V. 14. No. 3. P. 227–244.
57. *Tourre Y.M., Lacaux J.P., Vignolles C. et al.* Climate impacts on environmental risks evaluated from space: a conceptual approach to the case of Rift Valley Fever in Senegal // *Glob. Health Action.* 2009. V. 2. doi: 10.3402/gha.v2i0.2053.
58. *Vescio F.M., Busani L., Mughini-Gras L. et al.* Environmental correlates of Crimean-Congo haemorrhagic fever incidence in Bulgaria // *BMC Public Health.* 2012. V. 12. P. 1116.
59. *Wei L., Qian Q., Wang Z.Q. et al.* Using geographic information system-based ecologic niche models to forecast the risk of hantavirus infection in Shandong Province // *Am. J. Trop. Med. Hyg. China.* 2011. V. 84. No. 3. P. 497–503.
60. *Wu X., Duvvuri V.R., Lou Y. et al.* Developing a temperature-driven map of the basic reproductive number of the emerging tick vector of Lyme disease *Ixodes scapularis* in Canada // *J. Theor. Biol.* 2013 V. 319. P. 50–61.

### **The use of satellite remote sensing for monitoring and forecasting of vector-borne infections**

**A.E. Platonov, K.A. Gridneva, V.A. Dolgin, N.M. Kolyasnikova,  
O.V. Platonova, A.V. Titkov**

*Central Research Institute of Epidemiology, Moscow, Russia  
E-mail: platonov@pcr.ru*

The relation of epidemiology of six main vector-borne infection in Russia (tick-borne borreliosis, tick-borne viral encephalitis, Siberian tick typhus, Astrakhan rickettsial fever, Crimean-Congo hemorrhagic fever, West Nile fever) with climatic and ecological factors are considered. We discuss both observational and model data to identify most significant factors predisposing the spread of infection and human morbidity. The satellite remote sensing is already employed to estimate the values of such factors. we expect that in the nearest future the use of remote Earth sensing from space for epidemiological and medical purposes, particularly for forecasting of outbreaks and epidemics of vector-borne diseases, should be intensified.

**Keywords:** remote sensing, epidemiology, ecology, climate, vector-borne infections, monitoring, forecasting.