

УДК 630.181:595.78(470)

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-5-12

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВЛИЯНИИ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛЕСНЫХ ДЕРЕВЬЕВ И НАСЕКОМЫХ-ФИТОФАГОВ

И.А. Уткина, В.В. Рубцов

ФГБУН «Институт лесоведения РАН» (ИЛАН РАН), 143030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

utkinaia@yandex.ru

Многочисленные научные публикации, посвященные оценке влияния изменений климата на природные сообщества, показывают, что к настоящему времени накоплено немало данных о том, как реагируют на происходящие изменения растения и животные с различными характеристиками, как изменяются взаимосвязи между компонентами сообществ в разных природных зонах. Признается, что повышение температуры воздуха – фактор, оказывающий наибольшее влияние на живые организмы, а происходящее сейчас потепление происходит слишком быстро, чтобы они смогли адаптироваться к нему. Виды, занимающие разные трофические уровни, по-разному реагируют на происходящие изменения, что вызывает нарушение фенологической синхронности между кормом и его потребителем. Это относится и к кормовым растениям, и к насекомым, которые питаются ими, и к насекомоядным птицам. Как правило, реакция потребителя корма слабее, чем самого корма, отчего постепенно ухудшается кормовая база участников пищевой цепи, занимающих более высокие трофические уровни. Насекомые-ксилофаги в целом положительно отреагировали на повышение температуры и уменьшение количества осадков, судя по их расширившимся ареалам и увеличению интенсивности вспышек. Реакции насекомых-дефолиаторов и минёров менее однозначны, так как некоторые виды отрицательно отреагировали на увеличение температуры вследствие увеличения асинхронности между отрождением их личинок и раскрытием почек кормовых пород. Для галлообразователей и питающихся заболонью насекомых дефицит влаги вследствие засух, которыми сопровождается потепление, имеет отрицательное значение. До настоящего времени, несмотря на большое число наблюдений, остается много неясного в том, как функционируют отдельные виды растений и насекомых, их функциональные группы, лесные экосистемы в целом в меняющихся внешних условиях. Необходимы долгосрочные исследования в конкретных природных условиях, чтобы оценить реакцию участников взаимодействий на локальные изменения климата и определить стратегию лесного хозяйства в современной и прогнозируемой ситуации. **Ключевые слова:** изменения климата, лесные экосистемы, лесные деревья, насекомые-фитофаги, взаимодействие растения – насекомые

Ссылка для цитирования: Уткина И.А., Рубцов В.В. Современные представления о влиянии изменений климата на взаимодействие лесных деревьев и насекомых-фитофагов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 6. С. 5–12. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-5-12

Наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата и их влияние на самые разные стороны нашей жизни на протяжении нескольких десятилетий находятся в центре внимания специалистов разного профиля.

Цель работы

Воздействие климатических изменений на природные сообщества, их состав, функционирование, рост и развитие разнообразных компонентов, образующих эти сообщества, — основная часть исследований данного направления.

В работе G.-W. Walther et al. [1], являющейся обзором 97 источников, констатируется, что за прошедшие 100 лет (т. е. за весь XX в.) климат Земли стал теплее на 0,6°, с двумя отчетливыми периодами потепления — 1910–1945 гг. и с 1976 г. по настоящее время (2017 г.) Скорость повышения температуры во втором периоде потепления примерно в два раза выше, чем в первом. Более того, это самое интенсивное за последние 1000 лет потепление. Но, как справедливо пишут авторы

обзора, организмы, популяции и экологические сообщества реагируют не на осредненные в масштабах планеты показатели. Более уместно говорить, по их мнению, об экологических реакциях на региональные климатические изменения, неоднородные в пространственном отношении. Во многих регионах имеется асимметрия потепления, что, несомненно, уже внесло и еще внесет свой вклад в гетерогенность динамики экосистем.

Эти же авторы пишут также о том, что суточные амплитуды температур уменьшились, так как минимальные температуры выросли в два раза больше, чем максимальные. Вследствие этого в большинстве регионов северной и умеренной зоны удлинился безморозный период, а площадь снежного покрова и ледников, согласно спутниковым данным, с конца 1960-х гг. уменьшилась на 10 %. По их данным, примерно с 1960-х гг. весенние фенофазы и у растений, и у животных наступают все раньше, а осенние — все позже (хотя во втором случае не столь отчетливо), продолжительность

вегетационного периода в некоторых регионах с 70-х гг. XX в. увеличивалась со скоростью 3,6 сут за десятилетие [1].

О том, как повлияли произошедшие за последние десятилетия XX в. изменения климата на природные сообщества в разных зонах Земли, говорится в нескольких обзорных работах, вышедших в свет в самом начале XXI в. [2–5]. Во многих работах речь идет о влиянии изменений климата на бюджет углерода и о том, как изменение углеродных циклов, в свою очередь, повлияет на климатические характеристики [6–9].

По данным D. Lin et al. [10], в опытах с экспериментальным потеплением разной длительности (от 1 до 60 мес) произошло увеличение общей биомассы наземных растений на 12,3 %, причем у деревьев больше, чем у травянистых растений: 26,7 и 5,2 % соответственно. Авторы на основании проведенного ими метаанализа данных из 127 источников показывают, что на прирост растительной биомассы повлияли в первую очередь географическая широта и повышение температуры, а не прочие факторы (повышение концентрации CO₂, добавление азота, длительность вегетационного периода, изменение режима поступления осадков и др.). Реакция биомассы на климатические изменения варьируется в зависимости от географических параметров, видовых характеристик растений и их принадлежности к той или иной функциональной группе (семенные или споровые, деревья или кустарники, вечнозеленые или листопадные и т. д.).

Фенологические показатели как наиболее очевидный индикатор изменений климата

Особое внимание в этих и других работах уделяется фенологии — науке о сезонных изменениях в природе, так как изменение сроков наступления фенофаз у растений и животных — одно из наиболее очевидных и легко определяемых свидетельств происходящих климатических изменений.

Так, в упомянутой выше работе T.L. Root et al. [4] на примере 143 видов растений и животных из нескольких регионов показано, что в 80 % случаев видовые ареалы сдвигаются в направлении потепления климата. По мнению авторов [4], несмотря на то что все виды и природные сообщества непрерывно изменяются в процессе эволюции, происходящее сейчас потепление идет слишком быстро, чтобы они смогли адаптироваться к нему. Синергизм быстрого подъема температуры и других стрессовых факторов, в частности ухудшения местообитаний, вызванного деятельностью человека, могут легко нарушить

взаимосвязи между видами и привести к изменению состава сообществ вследствие различий в реакциях видов.

В одной из самых популярных и цитируемых работ [5], обобщающей 228 публикаций, говорится, что изменения фенологии и распределения растений и животных встречаются во всех типах морских, пресноводных и наземных природных сообществ и происходят так, как это и прогнозировалось в 2000–2002 гг.: в соответствии с глобальным потеплением ареалы сместились к северу и вверх по высоте. При этом виды, ареалы которых и ранее были ограничены, прежде всего полярные и высокогорные, станут еще более ограниченными в своем распространении и первыми подвергнутся угрозе исчезновения из-за изменений климата. Кроме того, зафиксированы уже происходящие нарушения взаимодействия в системах хищник — жертва и растение — насекомое, так как участники этих взаимодействий по-разному реагируют на потепление. В пределах расширяющихся видовых ареалов возникает эволюционная адаптация к более теплым условиям и используются новые ресурсы.

В то же время справедливо утверждение А.В. Кожаринова и А.А. Минина [11], что наблюдающееся потепление климата еще не стало фактором, который может спровоцировать изменения в структуре и функционировании экосистем умеренных широт, хотя зафиксированы направленные смещения в сроках наступления сезонных событий ранней и средней весны, осени, указывающие на потепление. Но они не носят повсеместного характера и свидетельствуют о присущей природным сообществам способности адаптироваться к внешним воздействиям без существенного ущерба для себя. Авторы [11] считают, что противоречивость фенологических тенденций при однонаправленных и очевидных, казалось бы, изменениях климата с начала XXI в. может свидетельствовать о весьма широком наборе адаптационных механизмов у биологических сообществ для переживания подобных периодов.

По мнению F.-W. Badeck et al. [12], именно температура — основной движитель многих процессов роста и развития растений, и в большинстве случаев более высокая температура ускоряет развитие растений и приводит к более раннему переходу их к следующей стадии онтогенеза. Растения чутко реагируют на сезонность внешней среды, в которой они находятся, и сдвиги в сроках деятельности растений (т. е. фенологии) дают наиболее очевидные свидетельства того, что виды и экосистемы испытывают влияние глобальных внешних изменений. Сдвиги фенологии наблюдаются в разных масштабах: от более раннего цветения отдельных видов до более раннего

позеленения земной поверхности, наблюдаемого из космоса.

Как считают E.E. Cleland et al. [13], необходимо объединить наземные и дистанционные методы фенологических исследований, подключив к ним математическое моделирование, чтобы лучше понять механизм происходящих изменений и обеспечить более точное прогнозирование будущих.

Однако, по мнению E.S. Post et al. [14], хотя потепление обычно ассоциируется с более ранним началом размножения (цветения растений, спаривания животных), реакция на потепление — более сложный процесс, чем просто сдвиг в сроках наступления тех или иных событий в жизни организмов, так как разные компоненты репродуктивной фенологии организмов реагируют с неодинаковой скоростью на потепление климата. Изменение фенологии видов происходит во всех природных зонах Земли, что неминуемо приводит к изменениям видовой демографии и популяционной динамики. По мнению авторов [14], несмотря на обилие уже накопленных данных, необходимы детальные долгосрочные наблюдения за организмами в одной и той же системе, причем следует оптимизировать протоколы наблюдений, чтобы адекватно охарактеризовать взаимодействие нескольких трофических уровней.

Важно отметить, что многие исследователи пишут о том, что сложность и неоднозначность наблюдаемых в природных сообществах процессов во многом определяется разной реакцией различных звеньев пищевых цепей на климатические изменения, о чем упоминалось выше [5]. Например, C. Both et al. [15] с 1988 по 2005 гг. наблюдали за фенологией четырех трофических уровней: датами раскрытия почек на кормовых деревьях, пиком кормления гусениц лиственной частью деревьев, фенологией размножения нескольких видов насекомоядных и хищных птиц. Показано, что во всех случаях реакция потребителя корма была слабее, чем самого корма, что в результате привело к постепенному ухудшению кормовой базы и насекомоядных, и хищных птиц, находящихся на более высоких трофических уровнях в рассматриваемой пищевой цепи.

A.S. Weed et al. [16] отмечают, что современные исследования подтвердили значение более мягких зим, более теплых периодов вегетации и изменений водного режима для частоты разнообразных лесных нарушений (в первую очередь вспышек массового размножения вредителей и заболеваний), так как климатические параметры влияют как на защитные характеристики и толерантность деревьев, так и на разнообразные взаимодействия внутри сообществ. Воздействие климата на частоту и интенсивность вспышек

размножения лесных насекомых и заболеваний леса может (по принципу положительной обратной связи) спровоцировать дальнейшие изменения климата, влияя на обмен углерода, воды и энергии между лесом и атмосферой. Изменения биотических нарушений имеют самые разные последствия для лесных экосистем и их способности приносить пользу человеку. По мнению авторов [16], необходимо лучшее понимание и прогнозирование взаимодействия между климатом, лесной продуктивностью, лесными нарушениями и социоэкономических связей между лесами и человеческим обществом.

Насекомые-фитофага в условиях меняющегося климата

Взаимодействие лесных насекомых-фитофагов и их кормовых древесных пород — важная тема работ, посвященных влиянию изменений климата на природные сообщества. Эта проблема выходит за рамки чисто научной, так как некоторые виды насекомых способны массово размножаться под действием тех или иных климатических факторов, нанося при этом существенный урон лесным насаждениям, что имеет большое экологическое и экономическое значение.

Еще в середине XX в. А.И. Воронцов отмечал [17], что при прямом воздействии сложившиеся погодные условия стимулируют или тормозят развитие, рост, питание насекомых и другие биологические процессы. Они же определяют уровень смертности от физических факторов среды (гибель от низкой температуры, ливней, засухи и т. д.). Очень часто в силу различных требований видов к физическим факторам наблюдается асинхронность в развитии вредителя и его энтомофагов.

Работы отечественных и зарубежных исследователей конца XX — начала XXI в. полностью это подтверждают и дают оценку влияния изменений климата на взаимодействие между растениями и насекомыми-фитофагами. На их основе сделаны аналитические обзоры, обобщающие в единое целое результаты разрозненных экспериментов и наблюдений, полученных с начала 80-х гг. XX в. Главные выводы содержатся в наших предыдущих обзорных работах [18–20].

J. Landsberg и M.S. Smith [21] еще в 1992 г. предположили, что изменения глобальной атмосферы повлияют на частоту и интенсивность вспышек размножения растительных насекомых, в первую очередь вследствие изменения температуры воздуха и суммы осадков, тогда как ожидаемое повышение содержания CO₂ в атмосфере не окажет большого влияния, кроме случаев, когда в ответ на нападение фитофагов растения образуют защитные соединения на основе азота.

Схожие выводы сделаны L. Hudes в 2000 г. [2]. Проанализировав 49 литературных источников, он распределил ожидаемые последствия изменения климата на четыре группы: 1) изменение физиологии насекомых и растений вследствие изменения скорости развития и метаболизма тех и других; 2) перемещение ареалов видов как растений, так и насекомых вверх по высоте над уровнем моря или к полюсам в ответ на сдвиг климатических зон; 3) изменение фенологии видов, отчего могут нарушиться взаимосвязи между ними; 4) изменение адаптационных способностей, отчего у видов с короткими оборотами поколений и высокой интенсивностью роста численности произойдут микроэволюционные изменения. Такие изменения физиологии, фенологии и распространения конкретных видов неизбежно изменят конкурентные и прочие взаимодействия между ними.

В том же 2000 г. M.P. Ayres и M.J. Lombardero [22] в обзоре 311 публикаций предположили, что изменения климата приведут к изменению действия фитофагов (в первую очередь насекомых) и возбудителей болезней (патогенов) на лес и повлияют на развитие и выживаемость фитофагов и патогенов, как непосредственно, так и косвенно — изменяя защитные реакции деревьев и воздействуя на естественных врагов и конкурентов фитофагов. Даже умеренные климатические изменения окажут, по их мнению, быстрое влияние на распределение и обилие многих фитофагов и патогенов из-за их короткого жизненного цикла, мобильности, репродуктивного потенциала и чувствительности к температуре. Кроме того, изменение лесных нарушений, вызываемых насекомыми и возбудителями болезней, вызовет обратную связь с климатическими факторами через воздействие на водный режим и потоки углерода в лесных экосистемах.

Похожие выводы делают и авторы более поздних (2010–2016 гг.) работ. По данным E.E. Stande и M.P. Ayres [23], в целом более высокая температура влияет на популяционную динамику насекомых, их выживаемость, длительность поколения, плодовитость и распространение. Однако реакции конкретного вида насекомого зависят от его ареала, занимаемого трофического уровня и прочих характеристик, сложившихся в ходе эволюции. По-видимому, в средних и высоких широтах популяции насекомых больше других выиграют от изменений климата благодаря их ускорившемуся развитию и увеличению выживаемости, тогда как о влиянии потепления на насекомых тропиков известно гораздо меньше. Смертность насекомых может снизиться вследствие более теплых зим, что также обусловит сдвиг ареалов к северу. Физиологический эффект

потепления на насекомых может быть и косвенным в виде трофических взаимодействий (в частности, с кормовыми растениями и естественными врагами). Подобные характеристики насекомых наблюдаются во всех расширившихся ареалах, свидетельствуя о биологических реакциях на происходящие климатические изменения. Так как в основном насекомые имеют относительно короткие жизненные циклы, высокую репродуктивную способность и большую мобильность, их физиологические реакции на повышение температуры могут спровоцировать резкое изменение популяционной динамики многих видов.

В обзорной работе T. Cornelissen [24] также говорится, что насекомые-фитофаги подвергаются не только прямому действию климатических изменений, но и косвенному — в виде изменений, происходящих с их кормовыми растениями.

A. Marciniak [25] обобщает исследования воздействия климата на разные группы насекомых и утверждает, что хищники положительно отреагировали на повышение температуры и уменьшение количества осадков, судя по их расширившимся ареалам и увеличению интенсивности вспышек. Данные о дефолиаторах не столь однозначны, так как некоторые виды отреагировали негативно на увеличение температуры вследствие увеличения асинхронности между отрождением их личинок и раскрытием почек кормовых пород.

T. Jaworski и J. Hilschanck [26] сделали заключение, что глобальное потепление благоприятно для видов-полифагов и эвтрофных видов благодаря их более высокой экологической пластичности и адаптивным способностям. По их данным, заметно возрастает роль термофильных видов, что проявляется сдвигами ареалов к северу и вверх по высоте над уровнем моря. В результате этих изменений роль некоторых фитофагов может измениться: у одних увеличится, у других — уменьшится. Возрастет число видов, зимующих в фазе яйца, по сравнению с теми, у которых зимуют другие фазы. Влияние водного дефицита на динамику численности насекомых-фитофагов может варьироваться. Это связано не только с частотой и уровнем дефицита влаги, но и с трофической гильдией, к которой принадлежит тот или иной фитофаг.

В целом, по мнению авторов [26], виды, развивающиеся в древесине, положительно реагируют на небольшой водный дефицит. Галлообразователи и питающиеся заболонью насекомые на дефицит влаги реагируют отрицательно. Данные о листогрызущих насекомых и минёрах противоречивы. Изменения климата и все более расширяющаяся торговля весьма благоприятны для распространения инвазивных насекомых-фитофагов. Отсутствие естественных врагов и более

высокая экологическая пластичность вселенцев по сравнению с аборигенными видами способны привести к более высоким, чем сейчас, повреждениям лесных экосистем.

Т.Е. Kolb et al. [27] в вышедшем совсем недавно обзоре 237 источников показывают, что прогнозируемые изменения климата вследствие антропогенной деятельности подразумевают повышение температуры и изменение количества и распределения осадков, что приведет к частоте и интенсивности засух. Однако данных о том, как это повлияет на лесных насекомых и возбудителей болезней, пока недостаточно. В частности, не обнаружена устойчивая реакция на засуху листогрызущих насекомых. С помощью теоретических выкладок и пока что небольшого числа наблюдений выявлена нелинейная связь между интенсивностью засухи и вспышками размножения наиболее вредоносных ксилофагов: умеренные засухи уменьшают численность ксилофагов и отпад деревьев вследствие их деятельности, тогда как сильные засухи, наоборот, увеличивают. Виды, питающиеся заболонью, реагируют на умеренные засухи в тех случаях, когда они резко сменяются более влажными периодами. До сих пор, по мнению авторов [27], плохо понято влияние засух на возбудителей болезней лесных пород, однако имеются свидетельства о пониженной численности первичных патогенов и тех патогенов, у которых жизненный цикл зависит от влажности. В этих случаях скорость размножения, распространения и инфицирования будет больше в более влажных условиях. Напротив, вторичные патогены (поселяющиеся на деревьях в стрессовом состоянии), как ожидается, в условиях засухи будут многочисленнее и окажут более сильное воздействие на дерево-хозяина. Авторы пришли к заключению, что необходимы более развернутые и продолжительные исследования того, как повлияют прогнозируемые засухи на лесных насекомых и возбудителей заболеваний, а также того, какова роль лесохозяйственных мероприятий для ослабления негативных воздействий всех этих биотических и абиотических факторов на лес.

Еще одна обобщающая работа, T.D. Ramsfield et al. [28], затрагивает другой важный аспект – увеличение угрозы экосистемам инвазивных видов насекомых и патогенов вследствие происходящих и будущих изменений климата. Данных по этой проблеме, по мнению авторов, до сих пор недостаточно.

Заключение

Обзор работ, посвященных влиянию происходящих и прогнозируемых изменений климата на лесные сообщества, в том числе на взаимодей-

ствие между лесными деревьями и насекомыми, показывает, что на протяжении последних десятилетий происходит изменение климата, проявляющееся прежде всего в повышении температуры воздуха и изменении количества и распределения осадков. Зафиксированные изменения ареалов многих видов растений и животных в виде сдвига в северном направлении и вверх по высоте над уровнем моря свидетельствуют о происходящем потеплении. Более раннее наступление весенних фенофаз и более позднее — осенних приводит к удлинению вегетационного периода и повышению биомассы наземных растений. Все это, вместе с изменениями климатических параметров, оказывает влияние на растительноядных животных, включая насекомых с разной пищевой специализацией и различными жизненными циклами. До настоящего времени, несмотря на большое число наблюдений, остается много неясного в том, как функционируют отдельные виды растений и насекомых, их функциональные группы, лесные экосистемы в целом в меняющихся внешних условиях. Авторы рассмотренных работ обращают особое внимание на необходимость продолжения долгосрочных исследований в конкретных природных условиях, чтобы оценить реакцию участников взаимодействий на локальные изменения климата, а также определить, какова должна быть стратегия лесного хозяйства в современной и предполагаемой ситуации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант № 15-04-05592).

Список литературы

- [1] Walther G.-R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C., Fromentin J.-M., Hoegh-Guldberg O., Bairlein F. Ecological responses to recent climate change // *Nature*, 2002, v. 416, pp. 389–395.
- [2] Huges L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? // *Trends in Ecology & Evolution*, 2000, v. 15, no. 2, pp. 56–61.
- [3] Shaver G.R., Canadell J., Chapin F.S. III, Gurevitch J., Harte J., Henry G., Ineson P., Jonasson S., Melillo J., Pitelka L. Global warming and terrestrial ecosystems: a conceptual framework for analysis // *BioScience*, 2000, v. 50, pp. 871–882.
- [4] Root T.L., Price J.T., Hall K.R., Schneider S.H., Rosenzweig C. J., Pounds A. Fingerprints of global warming on wild animals and plants // *Nature*, 2003, v. 421, pp. 57–60.
- [5] Parmesan C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change // *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2006, v. 37, pp. 637–669.
- [6] Cao M., Woodward F.I. Dynamic response of terrestrial ecosystem carbon cycling to global change // *Nature*, 1998, v. 393, pp. 249–252.
- [7] Cox P.M., Betts R.A., Jones C.D., Spall S.A., Totterdell I.J. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model // *Nature*, 2000, v. 408, pp. 184–187.

- [8] Luo Y.Q. Terrestrial carbon-cycle feedback to climate warming // *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2007, v. 38, pp. 683–712.
- [9] Saitoh T.M., Nagai S., Yoshino J., Kondo H., Tamagawa I., Muraoka H. Effects of canopy phenology on deciduous overstory and evergreen understory carbon budgets in a cool-temperate forest ecosystem under ongoing climate change // *Ecological Research*, 2015, v. 30, pp. 267–277.
- [10] Lin D., Xia J., Wan S. Climate warming and biomass accumulation of terrestrial plants: a meta-analysis // *New Phytologist*, 2010, v. 188, no. 1, pp. 187–198.
- [11] Кожаринов А.В., Минин А.А. Современные тенденции в состоянии природы Русской равнины // *Влияние изменения климата на экосистемы / под ред.: А.О. Кокорина, А.В. Кожаринова, А.А. Минина. М.: Русский университет, 2001. Ч. I. С. 17–23.*
- [12] Badeck F.-W., Bondeau A., Böttcher K., Doktor D., Lucht W., Schaber J., Sitch S. Responses of spring phenology to climate change // *New Phytologist*, 2004, v. 162, pp. 295–309.
- [13] Cleland E.E., Chuine I., Menzel A., Mooney H.A., Schwartz M.D. Shifting plant phenology in response to global change // *Trends in Ecology & Evolution*, 2007, v. 22, no. 7, pp. 357–365.
- [14] Post E.S., Pedersen C., Wilmers C.C., Forchhammer M.C. Phenological sequences reveal aggregate life history response to climatic warming // *Ecology*, 2008, v. 89, no. 2, pp. 363–370.
- [15] Both C., van Asch M., Bijlsma R.G., van den Burg A.B., Visser M.E. Climate change and unequal phenological changes across four trophic levels: constraints or adaptations? // *Journal of Animal Ecology*, 2009, v. 78, pp. 73–83.
- [16] Weed A.S., Ayres M.P., Hicke J.A. Consequences of climate change for biotic disturbances in North American forests // *Ecological Monographs*, 2013, v. 83, no. 4, pp. 441–470.
- [17] Воронцов А.И. Патология леса. М.: Лесная пром-сть, 1978. 272 с.
- [18] Рубцов В.В., Уткина И.А. Адаптационные реакции дуба на дефолиацию. М.: Гриф и К, 2008. 302 с.
- [19] Рубцов В.В., Уткина И.А. Филлофаги лесных экосистем в условиях изменяющегося климата // *Вестник Поволжского государственного технологического ун-та. Сер. Лес, экология, природопользование*, 2010. № 3. С. 3–15.
- [20] Уткина И.А., Рубцов В.В. Изменение климата и его последствия для взаимоотношений фитофагов с растениями // *Вестник МГУЛ — Лесной вестник*, 2009. № 5. С. 165–175.
- [21] Landsberg J., Smith M.S. A functional scheme for predicting the outbreak potential of herbivorous insects under global atmospheric change // *Australian J. Botany*, 1992, v. 40, no. 4–5, pp. 565–577.
- [22] Ayres M.P., Lombardero M.J. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens // *The Science of the Total Environment*, 2000, v. 262, no. 3, pp. 263–286.
- [23] Stange E.E., Ayres M.P. *Climate change impacts: insects* // eLS. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2010. URL: <http://www.els.net> doi: 10.1002/9780470015902.a0022555
- [24] Cornelissen T. Climate change and its effects on terrestrial insects and herbivory patterns // *Neotropical Entomology*, 2011, v. 40, no. 2. URL: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-566X2011000200001>
- [25] Marciniak A. Climate change effects on eruptive forest insects : a review and synthesis of empirical evidence. URL: <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/undergraduateresearch/52966/items/1.0075624> 2012 doi: 10.14288/1.0075624
- [26] Jaworski T., Hilszczański J. The effect of temperature and humidity changes on insects development and their impact // *Leśne Prace Badawcze (Forest Research Papers)*, 2013, v. 74, no. 4, pp. 345–355.
- [27] Kolb T.E., Fettig C.J., Ayres M.P., Bentz B.J., Hicke J.A., Mathiasen R., Stewart J.E., Weed A.S. Observed and anticipated impacts of drought on forest insects and diseases in the United States // *Forest Ecology and Management*, 2016, v. 380, pp. 321–334.
- [28] Ramsfield T.D., Bentz B.J., Faccoli M., Jactel H., Brockerhoff E.G. Forest health in a changing world: effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts // *Forestry*, 2016, v. 89, no. 3, pp. 245–253.

Сведения об авторах

Уткина Ирина Анатольевна – канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии широколиственных лесов Института лесоведения РАН, utkinaia@yandex.ru

Рубцов Василий Васильевич – д-р биол. наук, заведующий лабораторией экологии широколиственных лесов Института лесоведения РАН, vrubtsov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.06.2017 г.

MODERN IDEAS ABOUT THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON INTERACTIONS OF FOREST TREES AND PHYTOPHAGOUS INSECTS

I.A. Utkina, V.V. Rubtsov

Institute of Forest Science RAS 143030 Moscow region, Odintsovo district, village Uspenskoe, Sovetskaya st., 21

utkinaia@yandex.ru

Numerous scientific publications devoted to the assessment of the impact of climate change on natural communities show that up to now there has been accumulated a lot of data on how to react to changes in plants and animals with different characteristics, how the relationships between community components change in different natural zones. It is recognized that an increase in air temperature is the factor that has the greatest impact on living organisms, and the current warming is taking place too quickly for them to adapt to it. Species occupying different trophic levels react differently to the changes that occur, which causes a violation of the phenological synchrony between the feed and its consumer. This also applies to home plants and insects that feed on them, and to insectivorous birds. As a rule, the reaction of the feed consumer is weaker than the feed itself, which is why the food base of the food chain participants occupying higher trophic levels is gradually deteriorating. The xylophagous insects on the whole reacted positively to an increase in temperature and a decrease in the amount of precipitation, judging by their widened ranges and the increase in the intensity of outbreaks. The reactions of defoliating insects and miners are less straightforward, as some species react negatively to an elevated temperature due to an increase in asynchrony between the hatching of their larvae and the opening of buds of home trees. A moisture deficit due to droughts accompanied by warming has a negative value for gall producers and sap-eating insects. Until now, despite a large number of observations, an uncertainty remains concerning specific responses of plant and insects, their functional groups, forest ecosystems as a whole in a changing environment. Long-term studies in specific ecosystems are needed to assess the response of participants in interactions to local climate changes and to determine the strategy of forestry in the current and forecasted situation.

Keywords: climate change, forest ecosystems, forest trees, phytophagous insects, plant – insect interactions

Suggested citation: Utkina I.A., Rubtsov V.V. *Sovremennyye predstavleniya o vliyaniy izmeneniy klimata na vzaimodeystviye lesnykh derev' yev i nasekomykh-fitofagov* [Modern ideas about the impact of climate change on interactions of forest trees and phytophagous insects]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 6, pp. 5–12. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-5-12

References

- [1] Walther G.-R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C, Fromentin J.-M., Hoegh-Guldberg O., Bairlein F. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 2002, v. 416, pp. 389–395.
- [2] Huges L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution*, 2000, v. 15, no. 2, pp. 56–61.
- [3] Shaver G.R., Canadell J., Chapin F.S. III, Gurevitch J., Harte J., Henry G., Ineson P., Jonasson S., Melillo J., Pitelka L. Global warming and terrestrial ecosystems: a conceptual framework for analysis. *BioScience*, 2000, v. 50, pp. 871–882.
- [4] Root T.L., Price J.T., Hall K.R., Schneider S.H., Rosenzweig C. J., Pounds A. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 2003, v. 421, pp. 57–60.
- [5] Parmesan C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2006, v. 37, pp. 637–669.
- [6] Cao M., Woodward F.I. Dynamic response of terrestrial ecosystem carbon cycling to global change. *Nature*, 1998, v. 393, pp. 249–252.
- [7] Cox P.M., Betts R.A., Jones C.D., Spall S.A., Totterdell I.J. 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 2000, v. 408, pp. 184–187.
- [8] Luo Y.Q. Terrestrial carbon-cycle feedback to climate warming. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2007, v. 38, pp. 683–712.
- [9] Saitoh T.M., Nagai S., Yoshino J., Kondo H., Tamagawa I., Muraoka H. Effects of canopy phenology on deciduous overstory and evergreen understorey carbon budgets in a cool-temperate forest ecosystem under ongoing climate change. *Ecological Research*, 2015, v. 30, pp. 267–277.
- [10] Lin D., Xia J., Wan S. Climate warming and biomass accumulation of terrestrial plants: a meta-analysis. *New Phytologist*, 2010, v. 188, no. 1, pp. 187–198.
- [11] Kozharinov A.V., Minin A.A. *Sovremennyye tendentsii v sostoyanii prirody Russkoy ravniny* [Current trends in the state of nature of the Russian Plain] Vliyaniye izmeneniya klimata na ekosistemy [The Impact of Climate Change on Ecosystem]. Moscow: Russkiy universitet Publ., 2001, v. 1, pp. 17–23. (in Russian)
- [12] Badeck F.-W., Bondeau A., Böttcher K., Doktor D., Lucht W., Schaber J., Sitch S. Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*, 2004, v. 162, pp. 295–309.
- [13] Cleland E.E., Chuine I., Menzel A., Mooney H.A., Schwartz M.D. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution*, 2007, v. 22, no. 7, pp. 357–365.
- [14] Post E.S., Pedersen C., Wilmers C.C., Forchhammer M.C. Phenological sequences reveal aggregate life history response to climatic warming. *Ecology*, 2008, v. 89, no. 2, pp. 363–370.
- [15] Both C., van Asch M., Bijlsma R.G., van den Burg A.B., Visser M.E. Climate change and unequal phenological changes across four trophic levels: constraints or adaptations? *Journal of Animal Ecology*, 2009, v. 78, pp. 73–83.
- [16] Weed A.S., Ayres M.P., Hicke J.A. Consequences of climate change for biotic disturbances in North American forests. *Ecological Monographs*, 2013, v. 83, no. 4, pp. 441–470.

- [17] Vorontsov A.I. *Patologiya lesa* [Pathology of the Forest]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 272 p. (in Russian)
- [18] Rubtsov V.V., Utkina I.A. *Adaptatsionnye reaktsii duba na defoliatsiyu* [Adaptive Responses of Oak to Defoliation]. Moscow: Grif i K Publ., 2008. 302 p. (in Russian)
- [19] Rubtsov V.V., Utkina I.A. *Fillofagi lesnykh ekosistem v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata* [Phyllophages of forest ecosystems in a changing climate] *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Ser.: Les, ekologiya, prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga state technological University. Series: Forest, Ecology, Nature Management], 2010, no. 3, pp. 3–15. (in Russian)
- [20] Utkina I.A., Rubtsov V.V. *Izmenenie klimata i ego posledstviya dlya vzaimootnosheniy fitofagov s rasteniyami* [Climate change and its consequences for the relationship between herbivores and plants] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2009, no. 5, pp. 165–175. (in Russian)
- [21] Landsberg J., Smith M.S. A functional scheme for predicting the outbreak potential of herbivorous insects under global atmospheric change. *Australian Journal of Botany*, 1992, v. 40, no. 4–5, pp. 565–577.
- [22] Ayres M.P., Lombardero M.J. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *The Science of the Total Environment*, 2000, v. 262, no. 3, pp. 263–286.
- [23] Stange E.E., Ayres M.P. *Climate change impacts: insects*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, Available at: <http://www.elsevier.com/locate/S016953470015902> DOI: 10.1002/9780470015902.a0022555
- [24] Cornelissen T. Climate change and its effects on terrestrial insects and herbivory patterns. *Neotropical Entomology*, 2011, v. 40, no. 2. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-566X2011000200001>
- [25] Marciniak A. Climate change effects on eruptive forest insects : a review and synthesis of empirical evidence. Available at: <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/undergraduateresearch/52966/items/1.0075624> 2012 DOI: 10.14288/1.0075624
- [26] Jaworski T., Hilszczański J. The effect of temperature and humidity changes on insects development and their impact. *Leśne Prace Badawcze (Forest Research Papers)*, 2013, v. 74, no. 4, pp. 345–355.
- [27] Kolb T.E., Fettig C.J., Ayres M.P., Bentz B.J., Hicke J.A., Mathiasen R., Stewart J.E., Weed A.S. Observed and anticipated impacts of drought on forest insects and diseases in the United States. *Forest Ecology and Management*, 2016, v. 380, pp. 321–334.
- [28] Ramsfield T.D., Bentz B.J., Faccoli M., Jactel H., Brockerhoff E.G. Forest health in a changing world: effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts. *Forestry*, 2016, v. 89, no. 3, pp. 245–253.

Authors' information

Utkina Irina Anatolyevna – Cand. Sci. (Biol.), senior scientist of the Laboratory of broad-leaved forests, Institute of Forest Science RAS, utkinaia@yandex.ru

Rubtsov Vasilii Vasilyevich – Dr. Sci. (Biol.), Head of the Laboratory of broad-leaved forests, Institute of Forest Science RAS, vrubtsov@mail.ru

Received 16.06.2017