

В.Б. Сапунов

**ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ ТЕРМИТОВ НА ЗЕМЛЕ
И ИХ РОЛЬ В ГЛОБАЛЬНОМ МЕТАБОЛИЗМЕ
ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ**

V.B. Sapunov

**GLOBAL DYNAMICS OF TERMITE POPULATION
AND THEIR ROLE IN GREEN HOUSE EFFECT**

Значение термитов (Isoptera) и их место в биосфере определяется следующими обстоятельствами. Во-первых, этот отряд один из самых многочисленных по числу особей. Во-вторых, это один из немногих таксонов, который на протяжении многих лет непрерывно наращивает свою численность. В-третьих, они имеют исключительное негативное значение для человечества, так как разрушают деревянные постройки. В-четвертых, уникальность этого таксона связана с его огромным влиянием на глобальный круговорот углерода, углекислого газа, на концентрацию в атмосфере парниковых газов, значимую для регуляции мирового климата. Цель предлагаемой работы – попытаться найти причины роста популяции термитов, промоделировать глобальную динамику отряда термитов на основе эмпирических данных и принципов глобальной экологии, связать ее с глобальной динамикой парниковых газов.

Ключевые слова: термиты, парниковый эффект.

The importance of termite (Isoptera) population is based on the following reasons:

- 1. It is extremely populated order.*
- 2. This order increases its population during many years.*
- 3. This insects have a big importance because of destroying wood construction.*
- 4. The taxon has important effect on concentration of global carbon and carbon dioxide having effect on green house effect and world climate.*

The aim of the work is to suggest model of termite population and their gas productivity, basing of ecological principle and empiric data, and consider their role in green house effect.

Key words: termites, green house effect.

Введение

Среди многочисленного и бесконечно разнообразного мира насекомых термиты (Isoptera) занимают особое место. Их значение для биосферных процессов определяется следующими обстоятельствами.

Во-первых, этот отряд, хотя и не самый многочисленный по числу видов, но один из самых многочисленных по числу особей, имеющий экстремально большую биомассу.

Во-вторых, это один из немногих таксонов, который на протяжении многих лет непрерывно наращивает свою численность и расширяет ареал обитания, вторгаясь в урбанизированные биоценозы и агроценозы.

В-третьих, они имеют исключительное негативное значение для человечества, так как разрушают деревянные постройки.

В-четвертых, уникальность этого таксона связана с его огромным влиянием на глобальный круговорот углерода, на концентрацию в атмосфере парниковых газов – углекислого и метана, существенную для регуляции мирового климата.

Цель предлагаемой работы – попытаться найти причины роста популяции термитов, промоделировать глобальную динамику отряда термитов на основе эмпирических данных и принципов глобальной экологии, связать ее с глобальной динамикой парниковых газов.

Основные особенности экологии термитов

Термиты – общественные насекомые. Подобно пчелам и муравьям, они имеют три касты – царицы, трутни и рабочие (солдаты) [Жужиков, 1979; Esenther, 1979]. Биоразнообразии их сравнительно невелико – более 2 600 видов. Однако численность особей гигантская. По оценкам, начатым еще В.А. Догелем [Догель, 1981] и продолженным современными энтомологами и экологами [Anderson, 2005], численность термитов на Земле может достигать 10^7 – 10^8 миллиардов. Термиты – крупные массивные насекомые. Масса особи может достигать 3–5 г. Суммарная масса термитов, приходящаяся на одного человека, может составлять 3 т. В то же время «автомобильная масса» в расчете на одного человека не превышает 200 кг. Количество парниковых газов, производимых термитами, превышает таковое антропогенного происхождения. Основным продуктом питания термитов – сухая древесина. В течение нескольких столетий человечество увеличивало использование древесины при хозяйственной деятельности. Это расширяло экологическую нишу для термитов. Рост популяции сопровождается адаптацией термитов к более холодным условиям существования. Они достигли юга Европы, Молдавии, Украины, Средней Азии.

Имеется множество работ, описывающих физиологию, биохимию, генетику и молекулярную биологию термитов [Esenther, 1979, Proceedings..., 1999, 2002, 2005; Termites..., 2004]. Вместе с тем, глобальная экология термитов, описана менее полно. Определенную помощь может дать метод аналогий с другими насекомыми, использование моделей для распространения некоторых листоедов, созданных российскими учеными [Теоретические основы..., 1989].

В тропических лесах термиты – основные разрушители всех растительных остатков. Образование почвы в тропиках, перемешивание ее слоев, круговорот веществ в тропическом лесу – процессы, определяемые деятельностью термитов [Термиты влияют..., 1983; Anderson, 2005]. За редким исключением, термиты питаются только отмершей древесиной и в девственных лесах. Но когда с термитами сталкиваются интересы человека, положительная роль их отступает перед тем вредом, который они причиняют. Все деревянные сооружения подвергаются разрушительной деятельности термитов. Деревянный дом после их нападения стоит всего несколько лет. Каменные фундаменты не спасают деревянные конструкции зданий от термитов. Эти влаголюбивые и избегающие света насекомые сооружают на поверхности каменных частей зданий крытые галле-

реи, склеивая их из глинистых частиц так, чтобы они сообщались с почвой. Внутреннюю поверхность таких ходов термиты обрызгивают выделяемой ими жидкостью, чтобы поддерживать в галереях необходимую влажность. По таким галереям термиты проникают к деревянным перекрытиям и изрешечивают их. В результате обваливаются потолки, проваливаются полы и т.д. В доме, пустовавшем несколько месяцев, нередко мебель разваливается от легкого прикосновения. Термиты выгрызают в деревянных предметах свои ходы, так что остается только тонкая пластинка на поверхности, защищающая от открытого воздуха, который термиты не выносят, и губчатые перемычки внутри досок, поддерживающие ставшие легкими источенные предметы. В Южной Америке редко можно найти уцелевшую от них книгу, изданную более 50 лет тому назад. В Африке, Индии, Юго-Восточной Азии известно много случаев, когда из-за термитов приходилось переносить целые поселки и даже города — настолько большой вред они причиняют.

Иногда термиты способствуют ускорению гибели фруктовых деревьев. В Индии ежегодные убытки от термитов определяются в 280 млн рупий. Термиты распространены в Средней Азии: в Каракумах, Кызылкуме. В Голодной степи в массе встречаются делающие подземные гнезда закаспийский термит (*Anacanthotermes ahngerianus*) и туркестанский термит (*A. turkestanicus*). Поселения закаспийского термита узнаются по чуть выпуклому округлому широкому холмику, по окраске почвы, несколько отличающейся от окружающего фона. А туркестанского термита можно обнаружить по земляным галереям, проложенным по стволикам и стеблям сухих пустынных кустарников. В городах и других поселениях эти термиты сильно повреждают постройки. Они разрушают саман (необожженный кирпич из глины с соломой), из которого легко и удобно строить в сухих местностях. Разрушают они и деревянные перекрытия зданий, хотя обычно в природных условиях почти не оставляют почву. Так, был случай обвала перекрытий одной из фабрик в Фергане, а после сильного землетрясения в Ашхабаде оказалось, что потолочные балки многих зданий были сильно изъедены термитами [Жужиков, 1979].

В местностях, где много термитов, перед закладкой зданий проводят заправку почвы, здание строят на бетонированном фундаменте, деревянные части зданий пропитывают противотермитными составами, деревянные шпалы заменяют железобетонными, за фундаментами домов ведут регулярные наблюдения, разрушая галереи поселяющихся термитов. В тропических странах, бывших колониях и полуколониях, которые лишь недавно стали на путь самостоятельного экономического и политического развития, борьба с термитами, защита от них деревянных конструкций — одна из очень серьезных экономических проблем. В умеренном климате термиты не так вредны. В причерноморских местностях (Кавказ, Молдавия) распространен средиземноморский термит (*Reticulitermes lucifugus*), который пока не причиняет опасных повреждений [<http://www.termitesurvey.com>, <http://www.utoronto.ca/forest/termite/termite.html>].

Роль термитов в образовании парниковых газов

Парниковый эффект обусловлен в основном метаном и углекислым газом, причем значение метана выше, чем углекислого газа примерно в 20 раз. Сначала рассмотрим вопрос об углекислом газе. Общая динамика представлена в табл. 1. Единица измерения – гигатонн (миллиардов тонн) чистого углерода (ГтС).

Таблица 1

Средние годовые компоненты глобального круговорота углерода за период с 1980 по 1989 г. (ГтС/год)

Источники CO ₂	
Выбросы за счет сжигания ископаемых топлив и цементной промышленности	5,5 ± 0,5
Изменения, обусловленные землепользованием в тропиках	1,6 ± 1,0
Суммарные антропогенные выбросы	7,1 ± 1,1
Распределение углерода по резервуарам	
Аккумуляция в атмосфере	3,2 ± 0,2
Усвоение океаном	2,0 ± 0,8
Усвоение за счет возобновления лесов в Северном полушарии	0,5 ± 0,5
Дополнительные стоки на суше	1,4 ± 1,5

При этом следует заметить, что разные источники дают серьезные расхождения в балансе углерода и углекислого газа. Однако порядок величин определен. Общее количество углекислого газа в атмосфере составляет 2,7 триллиона тонн. Считается, что это величина имеет слабую тенденцию к росту. 50 лет назад имелось 2,6 триллиона тонн [Кондратьев, 2003; Давиденко, 2005]. Однако интенсивность фотосинтеза за указанный период тоже выросла. Несколько увеличилась масса лесов за счет сокращения применения древесины в хозяйстве, замены его на пластмассы. Незначительное потепление на Земле также активизировало фотосинтез. Мировая добыча нефти составляет около 3 млрд т. Даже если вся эта нефть сгорала бы, в результате возникло бы не более 7 млн т углекислого газа. Реальный же выход углекислого газа составляет около 3 млрд. Примерно столько же возникает в результате дыхания животных и растений. В то же время термиты производили не менее 55 млрд т углекислоты [Zimmerman, 1982; Кондратьев, 2003, 2005]. Согласно оценкам М.М. Камшилова [Камшилов, 1979], последующим работам [Sapunov, 2008], в ходе фотосинтеза в среднем усваивается 170 млрд т углекислоты в год, причем эта цифра имеет слабую тенденцию к росту. Общий выход углекислоты в атмосферу составляет 750 млрд т. Анализ всех аспектов проблемы глобального изменения климата, связанной с динамикой углерода, не является целью статьи. На сей счет имеются достаточно исчерпывающие сводки [Global crises..., 2004]. Сделаем лишь два качественных вывода. Первое – влияние человека и его деятельности на обмен углерода, входящего в состав углекислого газа, незначительно. Второе – влияние термитов на эти процессы значительно. При анализе вопросов глобального климата им следует уделять больше внимания, чем антропогенным факторам.

Обсудим теперь вопрос о метане. Глобальная эмиссия этого газа в атмосферу составляет около 535 млн т [Кондратьев, 2003]. 375 млн т из них имеет антропогенное происхождение, из них от 50 до 280 млн т дают рисовые поля. Термиты образуют 150 млн т. Ниже приводим таблицу, отражающую удельную роль разных источников образования метана, составленную на основании данных К. Кондратьева и материалов международных конференции по урбанизированным биоценозам.

Таблица 2

Роль разных источников в поступлении метана в атмосферу

Источник	Млн т в год
Рисовые поля	280
Термиты	150
Иные биотические факторы	250
Социальные факторы	150
Всего	830

Содержание CO₂ в атмосфере в основном зависит от процессов в океане, зато источники CH₄ находятся на суше: это сильно увлажненные территории, залежи углеводов, включая газогидраты, колонии термитов и т.п.

Обмен у термитов идет интенсивнее, чем у человека. Питаются термиты в основном древесиной. В кишечнике термитов живут в симбиозе с ними представители жгутиковых, которые помогают переваривать древесину. В задней кишке термитов из четырех относительно примитивных семейств (*Mastotermitidae*, *Kalotermitidae*, *Hodotermitidae* и *Rhinotermitidae*) живут симбиотические жгутиковые простейшие (*Protozoa*). Их ферменты превращают целлюлозу в растворимые сахара, которые всасываются в средней кишке насекомых. Известно примерно 500 видов простейших, ведущих такой мутуалистический образ жизни, причем, судя по всему, они эволюционировали в тесной взаимосвязи со своими хозяевами, и обе стороны существовать друг без друга не могут.

В результате переваривания образуются необходимые термитам органические вещества и выделяются газы – углекислый, метан и аммиак. Последние вносят свой вклад в динамику атмосферных процессов. Мощность этих источников приведена в табл. 2. Относительное распределение источников по их мощности дано на рис. 1.



Рис. 1. Доли отдельных источников в общем потоке метана в атмосферу.

Природа образования метана в таких источниках, как болота, озера, рисовые поля, жвачные животные, насекомые, свалки, примерно одинакова – ферментативная переработка клетчатки.

Таким образом, доля термитов в определении динамики парниковых газов настолько значительна, что ею нельзя пренебрегать.

Глобальное распространение популяций термитов. Современное состояние и прогноз

Термиты обитают в экваториальной зоне, постепенно расширяя ареал своего обитания. В Европе они фиксируются в Италии, Молдавии. На юге они расширяют ареал в Австралии, Новой Зеландии. Площадь, где фиксируются эти насекомые, составляет более 10 миллионов квадратных километров. Численность термитов на Земле может достигать 10^7 миллиардов и даже более. В настоящее время масса используемой в хозяйстве древесины сокращается, и площадь лесов на Земле медленно возрастает [Lomborg, 2002]. Однако, ввиду запаздывания популяционных процессов, популяция термитов продолжает расти. Рост сопровождается адаптацией термитов к более холодным условиям существования. Они достигли юга Европы, Средней Азии. На территории СНГ они встречаются в Средней Азии, на Черноморском побережье Кавказа и под Одессой. Эти термиты мельче тропических. Они устраивают свои гнезда только под землей.

Огромные количества термитов различных видов населяют внутренние области Африки. Здесь можно увидеть целые термитные поселки, состоящие из конусообразных сооружений, достигающих иногда высоты 6 м и более.

Популяционная динамика всех живых организмов включает как необратимые, так и обратимые процессы. Закономерности необратимых процессов в разные годы изучали Мальтус, Ферхюльст, Гаузе и др. Мальтус и Дарвин обосновали существование стадии экспоненциального роста в жизни любой популяции и вида. Ферхюльст и Гаузе показали [Gause, 1934], что рано или поздно рост любой популяции стабилизируется, подтвердив то философское положение, что ни один процесс не может развиваться бесконечно. В дальнейшем Гаузе показал, что при исчерпании ресурсов численность популяции любого вида рано или поздно сокращается. Исследования конца XX в. показали, что в природе редко происходит полное исчезновение вида. Он может существовать в «скрытом» состоянии неограниченно долгое время [Сапунов, 2002]. Общий вид кривой популяционной динамики для необратимых процессов изображен на рис. 2.

Помимо этого, в развитии любого вида имеются циклические, повторяющиеся компоненты. Циклы бывают эндогенными, задаваемыми внутрипопуляционными процессами. Это – генетический дрейф и др. Циклы бывают экзогенными, задаваемыми повторяющимися факторами внешней среды. Они могут быть биотическими – влияние хищников, паразитов и т.д. [Вольтера, 1984]. Могут быть абиотическими, например ритм солнечной активности, расположение крупных планет, угол наклона орбиты Земли. При рассмотрении этих процессов популяционная динамика будет описываться графиком, изображенном на рис. 3.

Численность популяции
термитов

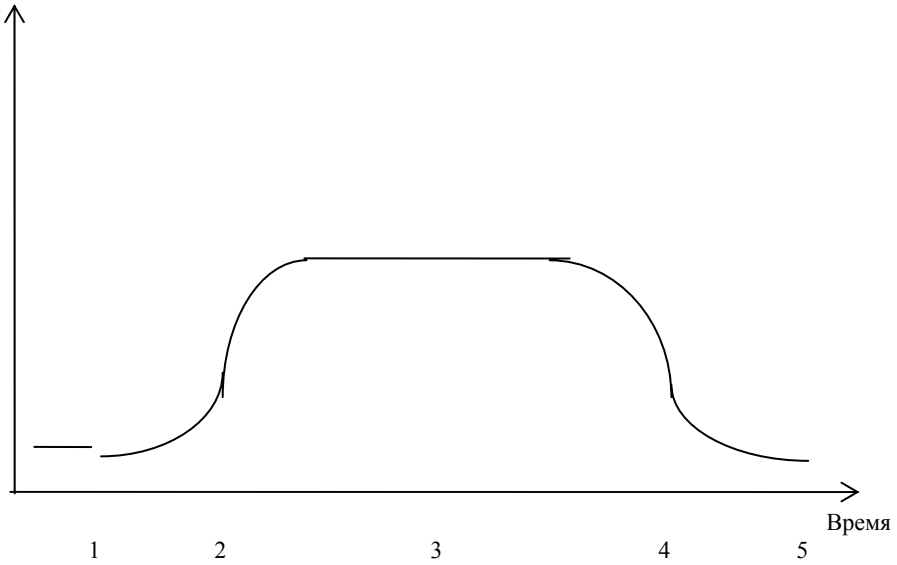


Рис. 2. Динамика популяционной численности в общем виде.
1 – адаптация к условиям среды, 2 – экспоненциальный рост, 3 – стабилизация,
4 – сокращение численности, 5 – переход в состояние «скрытого вида».

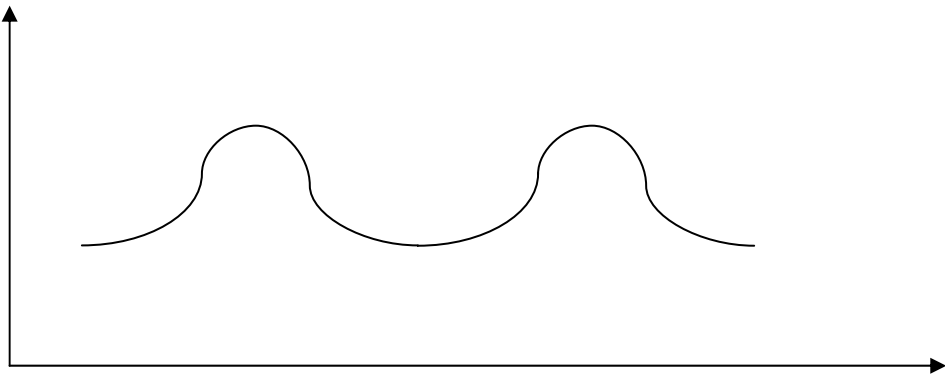


Рис. 3. Периодические изменения численности популяции. По осям те же переменные, что на рис. 2.

Формула, описывающая такой процесс:

$$N = A + B \sin Ct,$$

где A , B , C – константы.

Различают разные циклы по длительности (величина параметра C) – большие, малые, средние. Их результирующая описывает численность популяции.

Взаимодействие необратимых и обратимых процессов в популяциях приводит к результирующей кривой, один из гипотетических вариантов которой представлен на рис. 4.

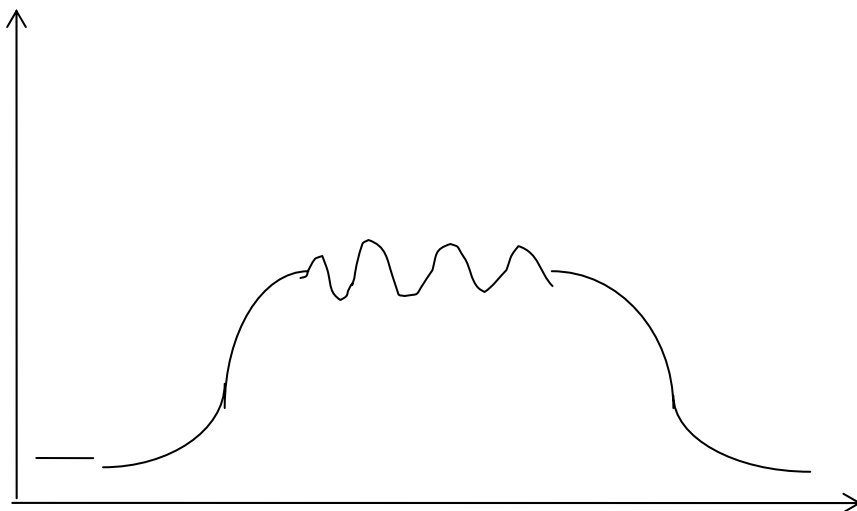


Рис. 4. Популяционная динамика с учетом обратимых и необратимых процессов.
По осям те же переменные, что на рис. 2.

Основной ресурс, используемый термитами – сухая древесина. В ходе социогенеза человек все больше использовал древесины, давая тем самым дополнительный источник сырья для термитов. За счет этого их популяция стала стремительно расти. В XVIII в. человечество при населении 1 миллиард потребляло $18 \cdot 10^8$ т древесины. В середине XX в. этот показатель вырос приблизительно в пять раз, после чего стал медленно сокращаться – за счет замены древесины иными материалами. Соответственно, стала сокращаться ресурсная база для термитов. Некоторое время по инерции еще будет наблюдаться рост, после чего произойдет стабилизация популяции термитов. В табл. 3 приведен возможный прогноз дальнейшей динамики термитов в масштабах земного шара. В основу модели положены математические расчеты и аналогии с распространением других насекомых. Так, в 80–90-х прошлого столетия на Северном Кавказе были интродуцированы для борьбы с сорняком амброзией пожирающие ее фитофаги американского происхождения. Эти насекомые дали популяционный взрыв и быстро заполнили обширные экологические ниши, частично сократив биомассу сорняка. Этот процесс был всесторонне изучен специалистами разных областей, включая автора настоящего сообщения. В результате была создана модель распространения насекомых, пригодная к экстраполяции [Теоретические основы..., 1989]. На ее основе проводились и настоящие расчеты по термитам.

Таблица 3

Глобальная динамика термитов. Прогноз, основанный на математических моделях

Год	Численность	Суммарная масса, т	CO ₂ млрд т	CH ₄ млрд т
1985	10 ¹⁷	2·10 ¹⁰	150	165
2008	1,05·10 ¹⁷	2,1·10 ¹⁰	157	173
2012	1,1·10 ¹⁷	2,2·10 ¹⁰	165	181
2017	1,15·10 ¹⁷	2,3·10 ¹⁰	172	190

Имеющийся эмпирический материал и методы математического моделирования позволяют создать модель, обладающую прогностической ценностью.

Заключение

В середине 90-х годов прошлого столетия озабоченность мирового сообщества экологическими проблемами привела к тому, что большинство стран подписали в 1997 г. в Японии так называемый «Протокол Киото». Он регламентировал выброс в атмосферу каждым из подписантов газов, вызывающих парниковый эффект и ведущих тем самым к глобальному потеплению климата. Научной экспертизы протокол не прошёл. Он игнорирует тот факт, что основная масса этих газов выделяется вовсе не в результате деятельности человека. Единственная группа насекомых – термиты – выделяют их в большом количестве. Количество же углекислоты, попадающее в атмосферу из тектонических разломов в земной коре, уже на порядок перекрывает промышленные выбросы. Остался скрытым от общественности и тот факт, что количество углекислого газа вообще практически не меняется миллионы лет за счёт гомеостатичности биосферы. Его дополнительный выброс компенсируется активизацией фотосинтеза.

Углекислый газ тому пример. Вклад человека в систему циркуляции углекислого газа в атмосфере кажется незначительным по сравнению с количествами CO₂, вовлеченными в естественные циклы в атмосфере, океане, почве, геологических отложениях и в живых организмах на земле и в океане. В то же время есть лишь очень приблизительное представление о количествах углерода, вовлеченного в этот процесс.

Имеющиеся данные о роли насекомых, в частности термитов, в динамике парниковых газов неоднозначны, однако они ясно указывают на то, что естественные процессы более значимы для баланса атмосферных газов, чем социально-обусловленные. В некотором роде человек выступал как триггер, стимулировавший размножение термитов, когда расширил для них экологическую нишу – сухую древесину, используемую в промышленности и строительстве. Однако, учитывая, что использование сухой древесины сокращается, можно ожидать и сокращение темпов прироста числа термитов на Земле. Имеющийся задел в области фундаментальной экологии насекомых позволяет сделать адекватный прогноз динамики численности этой группы насекомых и связанных с ее ростом экологических последствий.

Литература

1. *Вольтера В.* Математическая теория борьбы за существование. – М.: Наука, 1984. – 254 с.
2. *Догель В.А.* Зоология беспозвоночных. – М.: Высшая школа, 1981. – 606 с.
3. *Жужиков Д.П.* Термиты СССР. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 225 с.
4. *Камшилов М.М.* Эволюция биосферы. – М.: Наука, 1979. – 256 с.
5. *Кондратьев К.Я., Демирчан К.С.* Климат Земли и «протокол Киото» // Вестник РАН, 2005, 71, с. 1002–1009.
6. *Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П.* Перспективы развития цивилизации. Многомерный анализ. – М.: Логос, 2003.
7. *Сапунов В.Б.* Скрытые виды в палеонтологии // Вестник СПбГУ, 2002, вып. 1, сер. 7, с. 17–21.
8. Термиты влияют на климат // Природа, 1983, № 9, с. 116–117.
9. Теоретические основы биологической борьбы с амброзией. – Л.: Наука, 1989. – 256 с.
10. <http://www.termiteurvey.com>.
11. <http://www.utoronto.ca/forest/termite/termite.html>.
12. *Anderson A. et al.* Termites of Northern Australia – CSIRO and Tropical Savannas CPC, Alice Spring, 2005.
13. *Esenher G., Beal R.* Termite control // Sociobiol, 1979, 4, 215–222.
14. *Gause G.* The struggle for existence. – N.Y. 1934.
15. Global crises, global solutions. – Cambridge Univ Press, Cambridge, 2004, – 648 pp.
16. *Lomborg B.* The skeptical environmentalist. – Cambridge Univ. press, Cambridge, 2002.
17. Proceedings of the 3, 4, 5th International Conference on Urban Pests, 1999, 2002, 2005.
18. *Sapunov V.B.* Global dynamics of termite population: modeling, control and role in green house effect // Proc. 6th Int Conf Urban pests, Budapest, 2008, p. 389–393.
19. Termites. Handbook of pest control. Cleveland, GIE Media, 2004. 408 p.
20. *Zimmerman P.R., Greenberg J.P., Darlington J.P.* Termites and atmospheric gas production // Science, 1982, 224: 86.