

## Динамика численности термитов на Земле и их роль в глобальном метаболизме углерода

В.Б. Сапунов, Российский государственный гидрометеорологический университет,  
г. Санкт-Петербург

**Отряд термиты** – один из самых многочисленных по числу особей. Это один из немногих таксонов, который на протяжении многих лет непрерывно наращивает свою численность. Термиты имеют исключительное негативное значение для людей, так как разрушают деревянные постройки. Уникальность этой группы насекомых связана также с их огромным влиянием на глобальный круговорот углерода, углекислого газа, на концентрацию в атмосфере парниковых газов, значимую для регуляции мирового климата. Цель работы – попытаться установить причины роста популяции термитов, промоделировать глобальную динамику численности отряда термитов на основе эмпирических данных и принципов глобальной экологии, связать ее с глобальной динамикой парниковых газов.

Среди многочисленного и бесконечно разнообразного мира насекомых термиты (отряд 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, и имеющий экстремально большую биомассу. Во-вторых, это один из немногих таксонов, которые на протяжении нескольких столетий непрерывно наращивают свою численность, и расширяют ареал, вторгаясь в урбанизированные биоценозы и агроценозы. В-третьих, они имеют исключительное негативное значение для человечества, так как разрушают деревянные постройки. Уникальность этого отряда связана также с его огромным влиянием на глобальный круговорот углерода, на концентрацию в атмосфере парниковых газов – углекислого и метана, существенную для регуляции мирового климата (17).

### Основные особенности экологии термитов.

Термиты – общественные насекомые. Подобно пчелам и муравьям, они имеют три касты – царицы, трутни и рабочие (солдаты). Биоразнообразие их сравнительно невелико – чуть более 2600 видов. Однако численность особей гигантская. По оценкам, начатым еще В.А. Догелем (3) и продолженным современными энтомологами и экологами (11), численность термитов на Земле может достигать  $10^7$ – $10^8$  миллиардов. Термиты – крупные насекомые. Масса особи составляет около грамма, иногда может достигать 3–5 грамм. Суммарная масса термитов, приходящаяся на одного человека, может составлять 3 тонны. В то же время «автомобильная масса» в расчете на одного человека не превышает 200 кг.

Обмен веществ у термитов идет интенсивнее, чем у человека. Питаются термиты в основном сухой древесиной. В их кишечнике живут симбионты, которые помогают насекомым переваривать древесину. В результате переваривания образуются необходимые термитам органические вещества и выделяются газы – углекислый, метан и аммиак (11, 17). В течение нескольких столетий человечество увеличивало использование древесины в народном хозяйстве. Это расширяло экологическую нишу для термитов. В настоящее время масса используемой в хозяйстве древесины сокращается. Площадь лесов на Земле возрастает медленно (6). По данным ФАО, подытоженным Ломборгом (15), пик вырубок леса пришелся на 1947 г. В это время суммарная площадь всех лесов составляли 3,5 миллиардов гектаров. К концу XX века лесные массивы уже составляли 4,2–4,3 миллиардов гектаров. Рост численности термитов сопровождается адаптацией к более холодным условиям существования. Их ареал достиг юга Европы, Молдавии, Украины, Средней Азии.

Имеется множество работ, описывающих физиологию, биохимию, генетику и биологию термитов (16). Вместе с тем, глобальная экология термитов описана менее полно. Определенную помощь может дать метод аналогий с другими насекомыми, использование созданных российскими учеными моделей распространения некоторых листоедов (9).

### Роль термитов в естественных и урбанизированных экосистемах.

В тропических лесах термиты – основные разрушители всех растительных остатков. Образование почвы в тропиках, перемешивание ее слоев, круговорот веществ в тропическом лесу – процессы, определяемые

Таблица 1

**Средние годовые компоненты глобального круговорота углерода за период с 1980 по 1989 годы**

Источники CO <sub>2</sub>	(Гт С/год)
Выбросы за счет сжигания ископаемых, топливной 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

деятельностью термитов [11 и др.]. За редким исключением термиты питаются только отмершей древесиной в девственных лесах. По мере развития цивилизации человек стал наращивать употребление сухой древесины, расширив тем самым нишу обитания термитов. Деревянные сооружения подвергаются разрушительной деятельности термитов. Деревянный дом после их нападения стоит всего несколько лет. Каменные фундаменты не спасают деревянные конструкции от термитов. Насекомые сооружают на поверхности каменных частей зданий крытые галереи, 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 буквально 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, которого термиты не выносят, и губчатые перемычки внутри досок. В Африке, Индии, Юго-Восточной Азии известно много случаев, когда из-за термитов приходилось переносить целые поселки и даже города. Термиты успешно осваивают и другие материалы, содержащие целлюлозу, например, бумагу. В Южной Америке редко можно найти уцелевшую от них книгу, изданную более 50 лет тому назад. Мировой ущерб от деятельности термитов оценивается в 3 миллиарда долларов ежегодно (16 и др.).

На территории СНГ термиты наиболее распространены в Средней Азии: в Каракумах, Кызылкумах. В Голодной степи в массе встречается делающий подземные гнезда закаспийский термит (*Anacanthotermes ahngerianus*) и туркестанский термит (*A. turkestanicus*). 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 дома в сухих местностях. В умеренном климате термиты не так вредны. В причерноморских местностях (Кавказ, Молдавия) распространен средиземноморский термит (*Reticulitermes lucifugus*), который пока не причиняет опасных повреждений (4,10).

**Роль термитов в образовании парниковых газов.** Парниковый эффект обусловлен, в основном, метаном и углекислым газом, причем значение метана примерно в 20 раз выше, чем углекислого газа. Материалы по углекислому газу представлены в *таблице 1*. Единица измерения – гигатонна чистого углерода.

Следует заметить, что у разных источников имеются серьезные расхождения в балансе углерода и углекислого газа. Однако порядок величин определен. Общее количество углекислого газа в атмосфере составляет 2,7 триллиона тонн. Считают, что эта величина имеет слабую тенденцию к росту. 50 лет назад имелось 2,6 триллиона тонн (5,7). Однако интенсивность фотосинтеза за указанный период тоже выросла. Несколько увеличилась масса лесов за счет сокращения применения древесины в хозяйстве, замены ее на пластмассы.

Мировая добыча нефти составляет около 3 миллиардов тонн. Даже если вся эта нефть сгорала бы, в результате возникло бы не более 7 миллионов тонн углекислого газа. Реальный же выход углекислого газа составляет около 3 миллиардов тонн. Примерно столько же возникает в результате дыхания животных и растений. В то же время термиты производили не менее 55 миллиардов тонн углекислоты (6,17). В ходе фотосинтеза в среднем усваивается 170 миллиардов тонн углекислоты в год, причем эта цифра имеет слабую тенденцию к росту. Общий выход углекислоты в атмосферу составляет 750 миллиардов тонн. Анализ всех аспектов проблемы глобального изменения климата, связанной с динамикой углерода, не является целью статьи. По этому вопросу имеются достаточно полные сводки (15). Сделаем лишь два вывода: 1) влияние человека и его деятельности на обмен углерода, входящего в состав углекислого газа незначительно; 2) влияние тер-

митов на эти процессы значительно. При анализе вопросов глобального климата термитам следует уделять больше внимания, чем антропогенным факторам.

Глобальная эмиссия метана в атмосферу составляет около 535 миллионов тонн (5). 375 миллионов из них имеет антропогенное происхождение, из них от 50 до 280 миллионов тонн дают рисовые поля. Термиты образуют 150 миллионов тонн. Ниже приводим таблицу 2, отражающую удельную роль разных источников образования метана (4).

Содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере, в основном, зависит от процессов, происходящих в океане, источники метана находятся на суше: это сильно увлажненные территории, залежи углеводородов, включая газогидраты, колонии термитов и т.п. Питаются термиты в основном, как отмечалось, древесиной. В кишечнике термитов живут в симбиозе с ними представители жгутиковых, которые помогают переваривать древесину. В задней кишке термитов живут жгутиковые простейшие (Protozoa) четырех семейств (Mastotermitidae, Kalotermitidae, Hodotermitidae и Rhinotermitidae) 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. Относительное распределение источников по их мощности представлено на рис. 1.

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.

**Прогноз.** Численность термитов на Земле, как отмечалось, может достигать  $10^8$  миллиардов и даже более. В настоящее время масса используемой в хозяйстве древесины сокращается, и площадь лесов на Земле медленно возрастает (15).

Популяционная динамика всех живых организмов включает как необратимые, так и обратимые процессы. Закономерности необратимых процессов в разные годы изучали Мальтус, Фер-

Таблица 2

### Роль разных источников в поступлении в атмосферу метана (5, 6 и др.)

Источники	Млн тонн в год
Рисовые поля	280
Термиты	150
Иные биотические факторы	250
Социальные факторы	150
Всего	830

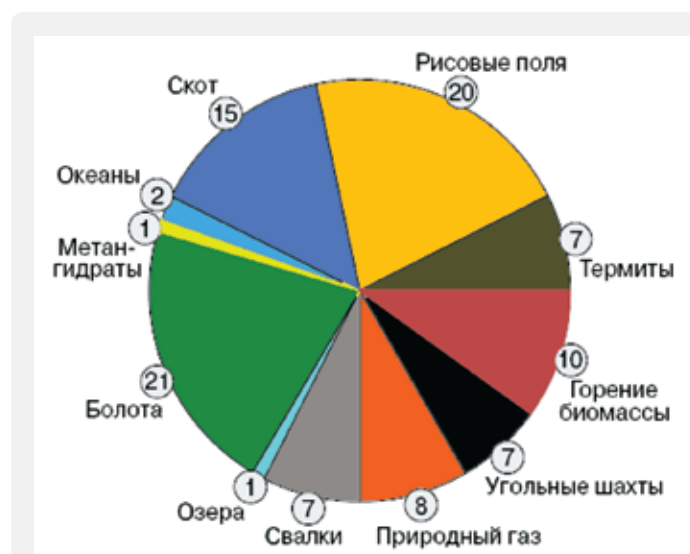


Рис. 1. Доля отдельных источников в общем потоке метана в атмосферу

хьюст, Гаузе и др. Мальтус и Дарвин обосновали существование стадии экспоненциального роста в жизни любой популяции и вида. Ферхьюст и Гаузе показали, что рано или поздно рост любой популяции стабилизируется, подтвердив то философское положение, что ни один процесс не может развиваться бесконечно. В дальнейшем Гаузе (13) показал, что при исчерпании ресурсов численность популяции любого вида рано или поздно сокращается. Исследования конца XX века показали, что в природе редко происходит полное исчезновение вида. Часто он может существовать в «скрытом» состоянии неограниченно долгое время (8).

В развитии любого вида имеются циклические, повторяющиеся компоненты. Циклы бывают эндогенными, задаваемыми внутривидовыми процессами. Это – генетический дрейф и др. Циклы бывают экзогенными, задаваемыми повторяющимися факторами внешней среды. Они могут быть биотическими – влияние хищников,

**Глобальная динамика численности термитов.  
Прогноз, основанный на математических моделях**

Год	Численность	Суммарная масса, тонн	CO <sub>2</sub> , млрд тонн	CH <sub>4</sub> , млрд тонн
1985	10 <sup>17</sup>	2 × 10 <sup>10</sup>	150	165
2008	1,05 × 10 <sup>17</sup>	1,05 × 10 <sup>10</sup>	157	173
2012	1,1 × 10 <sup>17</sup>	1,1 × 10 <sup>10</sup>	165	181
2017	1,15 × 10 <sup>17</sup>	1,15 × 10 <sup>10</sup>	172	190
2020	1,15 × 10 <sup>17</sup>	1,15 × 10 <sup>10</sup>	172	190

паразитов и т.д. [2]. Могут быть абиотическими, например ритм солнечной активности и др.

Термиты постепенно расширяют свой ареал. Площадь, где фиксируют этих насекомых, состав-

ляет более 10 миллионов квадратных километров. В ходе исторического развития человек все больше использовал древесину, давая тем самым дополнительный источник питания для термитов. За счет этого их популяция начала стремительно расти. В XVIII веке человечество при населении 1 миллиард потребляло 18 × 10<sup>8</sup> тонн древесины. В середине XX века 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 численности, после чего произойдет стабилизация популяции термитов. В *таблице 3* представлен прогноз дальнейшей динамики термитов в масштабах земного шара. В основу модели положены математические расчеты и аналогии с распространением других насекомых. Так, в 80–90-е гг. 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 различными специалистами, включая автора настоящего сообщения. В результате была создана модель распространения насекомых, пригодная к экстраполяции [7]. На ее основе проводились и настоящие расчеты по термитам.

В середине 90-х годов прошлого столетия озабоченность мирового сообщества экологическими проблемами привела к тому, что большинство стран подписали в 1997 году в Японии Протокол Киото. Он регламентировал выброс в атмосферу каждым из подписантов газов, вызывающих парниковый эффект и ведущих тем самым к глобальному потеплению климата. Научной экспертизой протокол не прошел. Он игнорирует тот факт, что основная масса этих газов выделяется не только в результате деятельности человека. Одна-единственная группа насекомых – термиты – выделяют их в большом количестве. Коли-





чество 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 счет гомеостатичности биосферы. Его дополнительный выброс компенсируется активизацией фотосинтеза.

Вклад человека в систему циркуляции углекислого газа в атмосфере кажется незначительным по сравнению с количествами CO<sub>2</sub>, вовлеченными в естественные циклы в атмосфере, океане, почве, геологических отложениях и в живых организмах на земле и в океане. В то же время у нас есть лишь 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. Но это не значит, что роль человечества можно не учитывать при прогнозе геофизических процессов. В некотором роде человек выступал как триггер, стимулировавший размножение термитов, когда расширил для них экологическую нишу из-за использования сухой древесины в промышленности и строительстве. Учитывая, что использование сухой древесины сокращается, можно ожидать и сокращение темпов прироста числа термитов на Земле. Имеющийся задел в области экологии насекомых позволяет сделать реальный прогноз динамики этой группы насекомых и связанных с ней геофизических последствий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Бажин Н.М.** // Химия в интересах устойчивого развития. 1993. Т. 1. – С. 381–396.
2. **Вольтера В.** Математическая теория борьбы за существование, М., Наука, 1974.
3. **Догель В.А.** Зоология беспозвоночных, М., Высшая школа, 1981.
4. **Жужиков Д. П.** Термиты СССР. – М., Изд-во МГУ. – 1979. – 225 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. – Серия 7. – С. 17–21.
8. **Термиты влияют на климат** // Природа, 1983. – № 9. – С. 116–117.
9. **Теоретические основы биологической борьбы с амброзией**, Ленинград, Наука, 1989.
10. <http://www.utoronto.ca/forest/termite/termite.html>.
11. **Anderson A. et. al.** Termites of Northern Australia – CSIRO and Tropical Savannas CPC, Alice Spring, 2005.
12. **Esenther G., Beal R.** Termite control// Sociobiol, 1979. – 4. – P. 215–222.
13. **Gause G.** The struggle for existence. N.Y. 1934.

14. **Global crises, global solutions.** Cambridge Univ Press, Cambridge, 2004. – 648 pp.

15. **Lomborg B.** The skeptical environmentalist. 2002. Cambridge Univ. press, Cambridge, 2002.

16. **Termites.** Handbook of pest control. Cleveland, GIE Media, 2004.

17. **Zimmerman P.R., Greenberg J.P., Darlington J.P.,** Termites and atmospheric gas production// Science, 1982. – 224: – 86.

### Dynamics of termites population on the Earth and their role in a global carbon metabolism

*V.B. Sapunov, Russian State Hydro-Meteorological University, St.-Petersburg*

Termites order is one of the most numerous in terms of the unit number. It is one of the few taxons, which continuously increases its population during many years. Termites have exclusive negative significance for humans as they destroy wooden constructions. Uniqueness of this insect group is connected also with their huge influence on global circulation of carbon, carbonic gas, on concentration of greenhouse gas in an atmosphere, that have great importance for a world climate. The purpose of this work consists of attempt to define the reasons of growth of termites population, to model the global dynamics of number for termites group on the basis of empirical data and principles of global ecology, to connect it with global dynamics of greenhouse gases.