

© ФОНД НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «XXI ВЕК»
РОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

БИОСФЕРА

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ
ПО ПРОБЛЕМАМ ПОЗНАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ БИОСФЕРЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЕ РЕСУРСОВ

Том 9, № 1

Санкт-Петербург

2017



BIOSPHERE

INTERDISCIPLINARY JOURNAL OF BASIC AND APPLIED SCIENCES DEDICATED
TO COMPREHENSION AND PROTECTION OF THE BIOSPHERE AND TO USAGE OF RESOURCES THEREOF

Vol. 9, No. 1

Saint Petersburg

2017

© «XXI CENTURY» RESEARCH FOUNDATION
RUSSIAN ECOLOGICAL ACADEMY

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ**

EDITORIAL BOARD

**РОССИЙСКОЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО
В РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ**

DOMESTIC EDITORIAL BOARD

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**INTERNATIONAL
ADVISORY BOARD**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:****Э.И. Слепян (С.-Петербург)**

EDITOR-IN-CHIEF

E.I. Slepyan (Saint Petersburg)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ**ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:****А.Г. Голубев (С.-Петербург)**

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

A.G. Golubev (Saint Petersburg)

СЕКРЕТАРЬ РЕДАКЦИИ:**И.М. Татарникова**

EDITORIAL SECRETARY:

I.M. Tatarnikova

ДИЗАЙН: Ю.С. Братишко

DESIGN: Y.S. Bratishko

ВЕРСТКА: Т.А. Слащева

LAYOUT: T.A. Slasheva

КОРРЕКТОР: Н.А. Натарова

PROOFREADING: N.A. Natarova

АДМИН САЙТА:**И.В. Перескоков**

SITE ADMIN: I.V. Pereskokov

В.Н. Большаков (Екатеринбург) V.N. Bolshakov (Ekaterinburg)**Л.Я. Боркин (С.-Петербург)** L.Ya. Borkin (Saint Petersburg)**А.К. Бродский (С.-Петербург)** A.K. Brodsky (Saint Petersburg)**Ю.С. Васильев (С.-Петербург)** Yu.S. Vasilyev (Saint Petersburg)**Р.М. Вильфанд (Москва)** R.M. Vilfand (Moscow)**Б.В. Гайдар (С.-Петербург)** B.V. Gaidar (Saint Petersburg)**Э.М. Галимов (Москва)** E.M. Galimov (Saint Petersburg)**В.А. Грачев (Москва)** V.A. Grachev (Moscow)**В.А. Драгавцев (С.-Петербург)** V.A. Dragavtsev (Saint Petersburg)**Г.В. Жижин (С.-Петербург)** G.V. Zhizhin (Saint Petersburg)**Г.А. Исаченко (С.-Петербург)** G.A. Isachenko (Saint Petersburg)**Н.Н. Марфенин (Москва)** N.N. Marfenin (Moscow)**Ю.К. Новожилов (С.-Петербург)** Yu.K. Novozhilov (Saint Petersburg)**Г.В. Осипов (Москва)** G.V. Osipov (Moscow)**В.А. Павлюшин (С.-Петербург)** V.A. Pavliushin (Saint Petersburg)**К.М. Петров (С.-Петербург)** K.M. Petrov (Saint Petersburg)**О.Н. Пугачев (С.-Петербург)** O.N. Pugachev (Saint Petersburg)**Ю.А. Рахманин (Москва)** Yu.A. Rakhmanin (Moscow)**А.А. Редько (С.-Петербург)** A.A. Redko (Saint Petersburg)**Г.С. Розенберг (Тольятти)** G.S. Rozenberg (Togliatti Russia)**А.В. Селиховкин (С.-Петербург)** A.V. Selikhovkin (Saint Petersburg)**Г.А. Софронов (С.-Петербург)** G.A. Sofronov (Saint Petersburg)**В.М. Тарбаева (С.-Петербург)** V.M. Tarbayeva (Saint Petersburg)**И.А. Тихонович (С.-Петербург)** I.A. Tikhonovich (Saint Petersburg)**М.Д. Уфимцева (С.-Петербург)** M.D. Ufimtseva (Saint Petersburg)**Г.Н. Фельдштейн (С.-Петербург)** G.N. Feldstein (Saint Petersburg)**Л.П. Чурилов (С.-Петербург)** L.P. Churilov (Saint Petersburg)**М.Д. Голубовский****(Окленд, США)**

M.D. Golubovsky

(Oakland, CA, USA)

М. Клявинш**(Рига, Латвия)**

M. Klavins (Riga, Latvia)

Я. Олексин (Курник, Польша)

J. Oleksyn (Kornik, Poland)

А.А. Протасов (Киев, Украина)

A.A. Protasov (Kiev, Ukraine)

В. Реген (Берлин, Германия)

W. Regen (Berlin, Germany)

Ю.Г. Тютюнник (Киев, Украина)

Yu.G. Tyutyunnik (Kiev, Ukraine)

О. Чертов**(Бинген-на-Рейне,
Германия)**

O. Chertov

(Bingen am Rhein,

Germany)

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой
по надзору в сфере связи
и массовых коммуникаций:
ПИ № ФС77-32791

от 08 августа 2008 г.

Registered by RF Federal Service
for Communication and Mass
Media Surveillance on 08 August
2008 as PI No FS77-32791

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

197110, Санкт-Петербург,
Большая Разночинная ул., д. 28;
Тел./факс: (812) 415-41-61
Эл. почта: biosphaera@21mm.ru
Электронная версия:
<http://21bs.ru> (ISSN 2077-1460)

POSTAL ADDRESS:

28 Bolshaya Raznochinnaya, 197110,
Saint Petersburg, Russia;
Phone/fax: +7 (812) 415-41-61;
E-mail: biosphaera@21mm.ru
Online version:
<http://21bs.ru> (ISSN 2077-1460)

СОДЕРЖАНИЕ

| | | |
|----|--|--|
| A3 | СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS | |
| A4 | ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ В РЕДКОЛЛЕГИИ И ПОЛИТИКЕ ЖУРНАЛА «БИОСФЕРА» ON CHANGES IN THE EDITORIAL BOARD AND EDITORIAL POLICY OF THE JOURNAL BIOSFERA | THE ROLE OF TRADITIONAL INSTITUTIONS IN STRATEGIES OF CO-ADMINISTRATION OF PROTECTED AREAS IN PRIMORSKIY REGION OF RUSSIA A.V. Bocharnikova |
| 1 | Редакционная статья УЧЕНЫЕ И НАУКОМЕТРИЯ: В ПОИСКАХ ОПТИМУМА ДЛЯ РОССИИ Л.П. Чурилов, Н.А. Бубнова, С.А. Варзин, В.В. Матвеев, О.Е. Пискун, А.Н. Шишкин, М.В. Эрман, А.Г. Голубев <i>Editorial</i> SCHOLARS AND SCIENTOMETRICS: SEARCHING FOR AN OPTIMUM IN RUSSIA L.P. Churilov, N.A. Bubnova, S.A. Varzin, V.V. Matveyev, O.Ye. Piskun, A.N. Shishkin, M.V. Erman, A.G. Golubev | ПРИРОДА / NATURE МОЛЕКУЛЯРНЫЕ АСПЕКТЫ ИММУНИТЕТА РАСТЕНИЙ И ИХ КОЭВОЛЮЦИИ С НАСЕКОМЫМИ А.В. Конарев MOLECULAR ASPECTS OF PLANT IMMUNITY AND ITS COEVOLUTION WITH INSECTS A.V. Konarev |
| 13 | ТЕОРИЯ / THEORY ПРОБЛЕМЫ ЦИКЛИЧНОГО И СТАЦИОНАРНОГО РАЗВИТИЯ ЦИВИЛИЗАЦИИ В ГЛОБАЛЬНЫХ МОДЕЛЯХ Ю.Н. Сергеев, В.П. Кулеш CYCLIC AND STATIONARY MODES OF THE DEVELOPMENT OF CIVILIZATION IN GLOBAL MODELS Yu.N. Segeyev, V.P. Kulesh | РЕЦЕНЦИИ И ДИСКУССИИ / VIEWS AND REVIEWS ГЕОДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ, ПОЛОВОЗРАСТНЫЕ ПИРАМИДЫ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ (размышления над книгой Гуннара Хейнзона «Сыновья и власть над миром» или опыт запоздалой рецензии) Г.С. Розенберг GEODEMOGRAPHIC SITUATION, GENDER-AGE PYRAMIDS, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT (contemplating Gunnar Heinsohn's book "Sons and World Power", or a delayed review experience) G.S. Rozenberg |
| 48 | ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС: ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ БИОРАЗНООБРАЗИЯ А.К. Бродский, Д.В. Сафронова THE GLOBAL ECOLOGICAL CRISIS VIEWED THROUGH THE PRISM OF BIODIVERSITY A.K. Brodsky, D.V. Safonova | ПРИЛОЖЕНИЯ / APPENDICES ЮБИЛЕЙ: 75 ЛЕТ ПРОФ. Г.В. ЖИЖИНУ JUBILEE: 75 YEARS TO PROF. G.V. ZHIZHIN |
| 71 | ПРАКТИКА / PRACTICE РОЛЬ ТРАДИЦИОННЫХ ИНСТИТУТОВ В СТРАТЕГИИ СОУПРАВЛЕНИЯ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИМОРСКОГО КРАЯ А.В. Бочарникова | СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ AUTHOR REFERENCES БЛАГОДАРНОСТЬ РЕЦЕНЗЕНТАМ ACKNOWLEDGEMENT TO REVIEW СВОДНОЕ ОГЛАВЛЕНИЕ ТОМА 8 (2016 Г) COMBINED CONTENTS OF VOL. 8 (THE YEAR 2016) |

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ В РЕДКОЛЛЕГИИ И РЕДАКЦИОННОЙ ПОЛИТИКЕ ЖУРНАЛА «БИОСФЕРА»

В связи с завершением трехлетнего периода, предусмотренного правилами журнала «Биосфера» для ротации его редколлегии, в ее составе произошли существенные изменения. Новый состав опубликован на титульной странице текущего номера. Сведения о членах нового состава редакционной коллегии размещены на официальном сайте журнала <http://21bs.ru>. Основные критерии для решения вопроса о продолжении работы в редколлегии или согласия войти в ее состав были определены в письме от редакции и издателя, которое было разослано всем заинтересованным сторонам. В письме было отмечено в частности:

«Согласие войти в состав редколлегии означает демонстрацию поддержки междисциплинарного журнала, издаваемого с целью, обозначенной в 'Концепции журнала', и общее согласие с этим и другими документами, определяющими политику в вопросах отбора и рецензирования статей и перспективы развития журнала».

В настоящее время перспективы журнала определяется созданием условий для его включения в международные библиометрические базы данных Scopus и ISI WoS.

Со своей стороны редакция и издатель журнала предприняли следующие шаги в этом направлении:

- Электронная версия журнала переведена на удовлетворяющую международным нормам платформу Open Journal Systems (OJS).
- Контент журнала в электронной форме сделан доступным без подписки (открытый доступ). Подписка сохранена только для желающих работать с журналом в форме печатного издания.
- Приняты меры к тому, чтобы снабжать научные рецензируемые публикации в журнале индексами DOI.
- Достигнута договоренность с Российской экологической академией о ее участии в издании журнала.
- Рассматривается вопрос о дополнении русскоязычных электронных версий публикаций журнала приложениями с полным переводом на английский под тем же DOI при условии, что ссылки будут даваться на исходные публикации. Предполагается, что в год только одна или две статьи, признанные редколлгией на конкурсной основе лучшими, будут переводиться на английский силами редакции и издателя. В остальных случаях авторы, заинтересованные в переводе своих статей на английский, оплачивают перевод и/или его редактирование. Публикации в журнале на русском языке остаются бесплатными.

Фонд научных исследований «XXI век» считает для себя оправданным сохранение бесплатности публикаций для авторов, несмотря на потерю подписки на электронную версию и дополнительные издержки на поддержание сайта, исходя из следующего:

Опубликовать статью типа научной за сравнительно небольшую плату, если очень нужно через месяц для защиты кандидатской, сейчас можно во многих возникших на этой почве изданиях, рекламирующих свои услуги на почтовых сайтах и путем массовой рассылки объявлений. «Биосфера» не берет с авторов плату, но она и не публикует что попало, если проплачено, а лишь то, что прошло реальное рецензирование при участии редакционной коллегии, и представляет таким образом реальную ценность для науки и высшего образования.

Только так можно способствовать поддержанию науки и образования в Российской Федерации на достойном уровне в условиях насаждения формальных оценок и коммерциализации всего и вся в этих сферах. В удержании планки допустимого в российской науке на высоком уровне видят суть миссии журнала его издатель и редакция, готовые ради этого на определенные издержки и риск.

Выполнение требований, предъявляемых для индексации в Scopus и ISI WoS, несомненно повышает качество научных журналов. Стремиться к соответствию этим требованиям необходимо. Но надо ли стремиться к индексации как таковой во что бы то ни стало? Этот вопрос обсуждается в редакционной статье настоящего номера (стр. 1–12). Но для того, чтобы позиция журнала в этом вопросе выглядела достойно (не «мы против, потому что не сумели, а «мы сумели, но остаемся противниками такой необходимости») надо прежде всего суметь, а это возможно только в результате совместных усилий издателя, редакции и редколлегии и всех, кто заинтересован в сохранении лица российской науки.

А.И. НОВИКОВ

Президент Фонда научных исследований «XXI Век»

Э.И. СЛЕПЯН

Главный редактор журнала «Биосфера»

А.Г. ГОЛУБЕВ

Заместитель главного редактора

УЧЕНЫЕ И НАУКОМЕТРИЯ: В ПОИСКАХ ОПТИМУМА ДЛЯ РОССИИ*

Л.П. Чурилов^{1, 5#}, Н.А. Бубнова^{1, 2}, С.А. Варзин^{1, 3}, В.В. Матвеев⁴,
О.Е. Пискун³, А.Н. Шишкин¹, М.В. Эрман¹, А.Г. Голубев^{1#}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, ² 1-й Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. И.П. Павлова,

³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

⁴ Северо-Западный институт управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ,

⁵ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия

Член редколлегии журнала «Биосфера»

* Данная публикация представляет собой модифицированную и дополненную в соответствии с форматом и концепцией журнала «Биосфера» версию статьи «Наукометрический бум: за и против», опубликованной в журнале «Национальная безопасность и стратегическое планирование» (2017, № 1, с. 112–122) на условиях открытого доступа. Редакция журнала «Биосфера» признательна издателю указанного журнала за разрешение использовать эту статью в качестве основы для настоящей публикации.

EDITORIAL

SCHOLARS AND SCIENTOMETRICS: SEARCHING FOR AN OPTIMUM IN RUSSIA

L.P. Churilov^{1, 5#}, N.A. Bubnova^{1, 2}, S.A. Varzin^{1, 3}, V.V. Matveyev⁴, O.Ye. Piskun³,
A.N. Shishkin¹, M.V. Erman¹, A.G. Golubev^{1#}

¹ Saint-Petersburg State University, ² I. P. Pavlov First Medical University of Saint Petersburg, ³ Peter the Great Polytechnic University of Saint Petersburg,

⁴ Northwest Institute of Management of the Russian Academy of National Economy and Governmental Service under President of the Russian Federation,

⁵ Saint-Petersburg Research Institute of Phthysiology and Pulmonology, Saint Petersburg, Russia

Editorial Board of the journal "Biosfera"

«Государство терпит и охраняет университет как освобожденное от своего воздействия пространство, которое оно охраняет также и от других властных влияний. Здесь действенным должно быть в высшей степени ясное сознание времени. Здесь должны жить люди, которые не несут никакой ответственности за осуществление современной политики, так как они несут ответственность единственно и неограниченным образом за становление истины. Это пространство за пределами мира действия, но пронизанное реалиями этого мира, которые становятся в нем предметом исследования. Близость к действительности реализуется здесь не посредством действий, а посредством познания. Оценивание и действие здесь уступают место чистоте идеи истины».

*Карл Теодор Ясперс,
«Идея университета»*

«Кто умеет, делает; кто не умеет, учит других; а кто не умеет и этого, учит учителей»¹ – то есть организует учебный процесс.

Одной из форм деятельности администраторов, организующих высшее образование и науку в Российской Федерации, стало введение тотального контроля научной и публикационной деятельности российских ученых и преподавателей высшей школы. Цель этих усилий вроде бы благая – получить достаточно точное представление о научной активности специалистов,

¹ <https://www.stihi.ru/2015/09/25/7488>. Этот афоризм принадлежит П.Дж. Лоуренсу – канадскому педагогу, который более известен как автор теории бюрократии, изложенной в книге «Принцип Питера».

чтобы определить критерии материального и морального стимулирования их работы государством и обществом с целью повысить эффективность российской науки.

В числе реально проделанных шагов в этом направлении можно отметить следующие.

1. Инициирована реорганизация научной сферы в стране, в частности реформа РАН, учреждено ФАНО, произведены многочисленные перетасовки, переименования и пересмотры сфер ответственности на уровне Министерства образования и науки и подведомственных структур. Конца этим процессам не видно.

2. Государством организованы научные фонды (крупнейшие – РФФИ и РНФ), которые формируют гранты и проводят конкурсы по их распределению.
3. Образовано частное ООО «Научная электронная библиотека», позже вступившее в частно-государственное партнерство, которое использует созданную по инициативе РФФИ платформу eLibrary.ru. Инициаторами этих шагов были президент компании Pleiades Publishing Inc. американский бизнесмен российского происхождения Александр Шусторович и академик РАН Михаил Алфимов². Так появились Российская универсальная научная электронная библиотека (РУНЭБ) и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) – и это правильно в сущности, хотя есть нюансы, в том числе мнение³, что нехорошо делегировать право решать вопросы российской научной периодики «нашим зарубежным партнерам», которые известны умением блюсти исключительно свои интересы.
4. Проведена ревизия российских научных журналов, публикации в которых идут в зачет при защитах диссертаций (так называемый «Перечень ВАК»)⁴. Возросли требования к публикациям в журналах, занесенных в этот перечень, в первую очередь для исключения недобросовестных претендентов на ученые степени.

События по п. 1 находятся за гранью добра и зла и будут оставлены без обсуждения. Наши комментарии коснутся п. 2–4. При этом многие аргументы из числа активно обсуждаемых профессиональным научным сообществом в Интернете будут только обозначены ссылками на соответствующие сайты, где можно найти много дополнительных мнений, представляющих интерес.

Электронные библиометрические базы данных

РУНЭБ и РИНЦ накопили 25,4 млн публикаций и более 254 млн ссылок, включая как отечественные, так и зарубежные источники. В целом эти ресурсы слабее по мощности и возможностям и менее популярны в научном сообществе в сравнении со Scopus и ISI Web of Science (WoS). Тем не менее, русскоязычная научная литература представлена в РУНЭБ несравненно лучше. Однако к РУНЭБ и РИНЦ предъявляются серьезные претензии в части корректности обращения с ней⁵, и при использовании этих ресурсов нередко сбой, к которым приводят ошибки при цити-

² Малинский В. Новый ресурс для новых возможностей. Известия, 30 мая 2008 г. <http://izvestia.ru/news/337118>

³ Сердечнова Е. Кому принадлежит российская наука. http://pravoslavnye.ru/opp/2015/6/22/komu_prinadlezhit_rossijskaya_nauka/

⁴ См.: <http://www.21mm.ru/#blog/archivemm/29216>

⁵ <http://trv-science.ru/index.php?s=%D0%A0%D0%98%D0%9D%D0%A6>

ровании и внесении данных в библиотеку, в том числе из-за неверно записанных фамилий авторов и названий цитируемых статей и их источников (особенно материалов конференций). А это – следствие низкой требовательности редакций многих журналов к корректности пристатейных списков литературы и, что греха таить, все еще низкого уровня культуры цитирования.

Функции РУНЭБ, по сути частного предприятия, имеют государственное значение, и, следовательно, финансовые обязательства в этом деле должны быть совместными с государством, то есть такое сотрудничество должно представлять собой частно-государственное партнерство.

Но вот что вызывает недоумение: в целом ряде вузов и НИИ, в том числе бюджетных, решения о заключении трудовых договоров между сотрудниками и администрацией и о прохождении конкурсов на замещение вакантных должностей предусматривают обязательный минимум публикаций, индексированных в Scopus и/или ISI WoS, а РИНЦ при этом вообще ни в грош не ставится. Зачем тогда надо было огород городить? На что ушли не только частные, – Бог с ними, – но и государственные средства в рамках партнерства?

Тот же вопрос уместен и касательно критериев прохождения заявок на гранты. На этой теме следует остановиться, потому что публикации за авторством заявителя являются важным критерием для решения вопроса о грантовой поддержке, а выполнение исследований по грантам в конечном счете должно определять содержание новых научных статей, не так ли?

Научные фонды, гранты и система их распределения

Банальная по сути, но не способам решения проблема здесь состоит в том, что для научных исследований необходимы деньги, причем выделяемые не только единичными крупными ассигнованиями на длительный срок для строительства и эксплуатации уникальных установок, как то для ядерной физики, но и менее крупными, но более многочисленными порциями на исследования, производящими львиную долю научных публикаций, а именно на биомедицинские. По состоянию на 2011 г. в системе Национальных институтов здоровья США затраты на всего лишь одну публикацию составляют от 30000 до 70000 долларов США⁶. Для сравнения: трехлетний грант Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) предусматривает выделе-

⁶ Piwowar H. Rough Estimate of Papers per Dollar. 23 Feb. 2011 <https://researchremix.wordpress.com/2011/02/23/rough-estimate-of-papers-per-dollar/>

ние 700000 руб., то есть порядка 10000–12000 US \$ в год, причем на следующий год средства выделяются только при условии выполнения плана работ за истекший год. В биологии и медицине значительная часть этих средств уходит на бесчисленные реактивы. Допустим, что дорогостоящее оборудование уже есть (в «организации, предоставляющей условия для выполнения работ по проекту»). Но его наличие само по себе в такой ситуации мало что дает, тем более если оно приобретено не под конкретную задачу, а «на всякий случай», чтобы все было на уровне лучших мировых образцов и в одном месте напояк. Это – мертвый груз без расходных материалов, основным источником которых должны стать закупки на средства грантов, и без идей, об основном источнике которых речь пойдет в конце статьи.

Как ни странно, в стране, претендующей на заметную роль в мировой науке, есть только 3 крупных централизованных научных грантодателя – РФФИ, РНФ и РГНФ. Плюс гранты Президента и Правительства. Помимо упомянутых главных государственных агентств (бюджет РФФИ в 2016 г. – 16 млрд руб., РНФ – 15,5 млрд руб., РГНФ – 1,8 млрд руб.) есть еще РАН (4,1 млрд руб.). Даже если добавить к этому ресурсы, предоставленные государством на фундаментальную науку организациям, проводящим свои грантовые конкурсы и финансируемым отдельной строкой госбюджета: ФАНО (67,2 млрд руб.); МГУ (2,5 млрд руб.); СПбГУ (0,75 млрд руб.); Курчатовский институт (1,3 млрд руб.) – то в сумме за 2016 г. на все фундаментальные исследования выходит 110,6 млрд руб., а на прикладные разработки в области медицины, фармацевтики и здравоохранения – еще 28,6 млрд руб. Это эквивалент 2,3 млрд долларов США⁷. Для сравнения: бюджет только одного Национального института рака США в 2016 г. – 5 млрд долларов, одной лишь только системы национальных институтов здоровья США – 31 млрд долларов⁸.

Очередной указ № 642 от 1 декабря 2016 г. «Стратегия научно-технического развития Российской Федерации» никаких надежд в этой части не внушает⁹. Последовавшая за публикацией указа трехмесячная заминка в принятии решения по заявкам на гранты РФФИ и ФНО весьма знаменательна в этом отношении.

Ну вот опять, скажут иные, опять нытье по деньгам! Да их нигде на гражданскую науку не хватает. Вон,

⁷ Онищенко Е. Бюджет-2016 и наука. Троицкий вариант. 13 января 2016 г. <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=b4fee3e3-ce3c-4225-8939-22dbf5c8d08f>.

⁸ <https://www.hhs.gov/about/budget/budget-in-brief/nih/index.html>

⁹ <http://trv-science.ru/2016/12/06/ocherednoj-ukaz-ocherednaya-strategiya/>

Д. Трамп в США тоже научный бюджет режет¹⁰. Вам нужны деньги? Идите мыть посуду в Макдональдс, и ваша гарантированная зарплата будет больше, чем базовая ставка доцента...¹¹ а вот такого уже, извините, нигде в мире больше нет, только у нас...

К тому же в США значительная часть научных исследований выполняется вообще вне бюджета, а немалая часть внебюджетных средств при этом приходится на филантропов, и их доля растет: «Миллиардеры с большими идеями приватизируют американскую науку» – так называется статья в «Нью-Йорк таймс»¹².

В РФ же практика финансирования науки независимыми грантодателями и система частных грантов на науку от крупных собственников развиты крайне слабо, в отличие не только от США, но и от дореволюционной России¹³. Частные пожертвования идут сейчас в основном на благотворительность¹⁴. Крупные частные потенциальные грантодатели предпочитают *искусство, музеи, спорт* – то есть такие сферы, где велика публичная пиар-отдача от затраченных средств. Цели и результаты фундаменталь-

¹⁰ <http://www.sciencemag.org/news/2017/03/research-afterthought-first-trump-budget>

¹¹ <http://finbazis.ru/zarplata-prepodavatelya-vuza/>

¹² https://www.nytimes.com/2014/03/16/science/billionaires-with-big-ideas-are-privatizing-american-science.html?_r=1

¹³ В имперский период в России роль частной поддержки фундаментальной науки была весьма велика: примером может быть финансирование Павлом Павловичем Рябушинским (1871–1924) большей части расходов экспедиций В.И. Вернадского и его школы, приведших к открытию отечественных месторождений радиоактивных элементов, что заложило фундамент российской атомной науки и промышленности. Царь выделил на поиски урана в России 14000 золотых рублей, а лично П.П. Рябушинский – 756000 (Сапунов В.Б. Неизвестные страницы биографии В.И. Вернадского. Истоки ноосферной философии. Региональная экология. 2002;(3-4):7-12). Московский купец Гаврила Солодовников (1826–1901) отдал на медико-социальную благотворительность свыше 90% своего состояния – и на эти деньги построили ряд клиник, и поныне действующих в составе ММА им. И.М. Сеченова и в столичной системе здравоохранения.

¹⁴ В России в 2014–2015 гг. граждане жертвовали благотворительным организациям более 140 млрд руб., а процент респондентов, которые хотя бы раз за год оказали благотворительную помощь, – в России один из самых высоких в мире (55%). Но в большинстве размер отдельных пожертвований невелик. В приоритете – социальное признание, помощь инвалидам, жертвам тяжелых жизненных обстоятельств, причем 34% пожертвований адресованы церковным организациям, а научные или медицинские организации, в отличие от Великобритании, например, в списке главных адресатов пожертвований от российских граждан не стоят (Ходорова Ю., Черток М. Исследование частных пожертвований в России 2014–2015 год. http://philanthropy.ru/wp-content/uploads/2015/CAF%20Russia%20Report_RUS_2014-2015.pdf).

Годовые затраты на благотворительность основных российских членов списка богатейших лиц планеты «Списка Forbes» от 0,1 до 1,5% от их состояния (в дореволюционной России у братьев П. и С. Третьяковых было 37,5%, у В. Морозовой – около 10%, у барона А. Штиглица – 6%).

ной науки в сегодняшней России *не в фокусе массового внимания*¹⁵.

В современной России богатейшие люди – не обязательно образованнейшие, далеко не всегда они обязаны науке и образованию своим жизненным успехом, соответственно, не все они могут оценить роль этих сфер человеческой деятельности. Крупнейшие меценаты на Западе – в основном потомственные миллионеры не в первом поколении, как правило, получившие блестящее образование на излишки денежных средств своих предков, которым в период первоначального накопления капитала было не до науки, как и у нас, разумеется. То есть «лишние» деньги вкладывались сначала в образование для детей, и только потом благодаря этому внуки стали вкладывать их в науку, а не в женские бои в грязи или в футбольные команды. Может, и у нас лет через... со сменой поколений ситуация изменится к лучшему¹⁶ (да и ученых поубавится). А сейчас годовая зарплата игрока в «Зените» (основной спонсор – Газпром) может многократно превышать размеры трехлетнего гранта РФФИ для целого научного коллектива.

По доле суммарных общих, государственных и частных расходов на науку, отнесенных к ВВП, Россия, по данным ЮНЕСКО, в 2012 г. была лишь на 32-м месте в мире (1,16%) – между Венгрией и Тунисом, с тех пор ситуация к лучшему не менялась. Лидеры – Израиль (4,40%), Финляндия (3,88%) и Южная Корея (3,74%) опережали нас в 3–4 раза, и даже в маленькой Эстонии нашлось 1,62% от ВВП. В аналогичном рейтинге ЮНЕСКО по доле совокупных расходов на здравоохранение от ВВП наша страна (9%) в 2013 г. была на 91-м месте в мире^{17, 18}.

¹⁵ Кто не слышал про «яйца Фаберже», приобретенные В. Вексельбергом за 6 млрд руб. для созданного им музея, или про художественную коллекцию М. Ростроповича и Г. Вишневецкой, выкупленную для России А. Усмановым примерно за такую же сумму? А многим ли ведомо, что 84-летний уральский титанопромышленник Владислав Валентинович Тетюхин отдал 3,2 млрд рублей, чтобы создать передовую в научно-технологическом и медицинском отношении клинику в Нижнем Тагиле? И не потому ли он поддержал науку, что сам еще в СССР успел стать доктором технических наук? (Лехницкая Д., Смирнов К. Благотворительность по-русски: олигархи охотнее жертвуют деньги музеям, чем больницам // Комсомольская правда, 25 января 2017 г. <http://www.spb.kp.ru/daily/26635.3/3652825/>)

¹⁶ Расцвет философии и науки в Германии периода феодальной раздробленности (и изрядной общей нищеты) – с чего бы он? Ответ: «Каждый немецкий ландграф считал необходимым иметь в своей столице университет как символ престижа и суверенитета» (<http://www.litrossia.ru/archive/item/1077-oldarchive>). Мода у них тогда была на философов. Не потому ли Германия и после объединения сохранила ведущие позиции в науке? Вот бы и каждый российский олигарх считал необходимым иметь под собой научный институт и гордился бы не числом трофеев его команды в футбольной премьер-лиге Англии, а числом статей, опубликованных от его института в Nature.

¹⁷ Рейтинг стран мира по уровню расходов на здравоохранение: <http://gtmarket.ru/ratings/expenditure-on-health/info>

¹⁸ Между Нигером и Суданом, далеко позади лидеров (Тувалу – 20%, США и Маршалловы острова – 17%, Голландия – 13%). Из бывших

При этом по числу ученых и инженеров на тысячу населения РФ, хотя уже не впереди планеты всей, как СССР, но все еще на очень высоком *третьем* месте в мире¹⁹. Можно ставить вопрос о том, насколько адекватной реалиям была такая насыщенность населения СССР высшим образованием, и не является ли вышеупомянутое третье место тяжелым наследием развитого социализма. Но по факту все равно сейчас получается, что множество специалистов, подготовленных к научной деятельности и имеющих идеи, желание и умение их реализовывать, не получают такой возможности. Поэтому «утечка мозгов» – это вовсе не погоня за «длинным долларом», как это любят представлять те, кто судит по себе, а поиски способов реализации знаний и умений, на приобретение которых ушли не только немалые государственные средства, но и немалое время жизни их получателя.

Улучшить положение дел могли бы предусмотренные в финансовой системе специальные грантовые скидки: оборудование и реактивы по грантам для науки должны стоить дешевле, чем на свободном коммерческом рынке, их не следует облагать таможенными пошлинами. Спонсорские отчисления на науку следует поощрять налоговыми льготами. Все это есть там, где наука финансируется щедрее, чем в РФ²⁰, а в РФ такая система отсутствует вообще!²¹

Мировая практика свидетельствует, что удачливый автор на одну поддержанную заявку подает порядка 10 отклоненных. И это не самый разочаровывающий результат при наших реалиях. Можно понять, почему у нас заявки удовлетворяются на еще более жесткой конкурсной основе. Но что вызывает недоумение, так

союзных республик СССР, имевших однотипное с нами наследство и проблемы, внимание к финансированию здравоохранения оказалось выше в Молдове (12%), Грузии (9%), Украине (8%).

¹⁹ С 1990 по 2012 г. численность ученых в России снизилась с 1119000 до 370000.

²⁰ В Королевском институте Швеции, ученый совет которого присуждает Нобелевские премии, более 60% бюджета складывается «снизу» – из выигранных учеными грантов, причем – в основном от *небольших и средних* грантодателей. Эта составляющая превышает и вложения шведского короля, и дотации крупных фармацевтических концернов и медицинских фирм. И это возможно потому, что в стране огромное количество независимых мелких и средних грантодателей. Они сетевым образом, безо всякой централизации процесса, взаимодействуют с научным сообществом. У владельца парикмахерской любимая супруга долго лечилась и умерла от тяжелой болезни. Он учреждает в ее память скромный целевой грант или стипендию для тех, кто занимается разработками по борьбе с унесшим ее жизнь недугом. Его доходы и степень его общественной независимости, весь общественный климат – позволяют и приветствуют такое, это престижно в его кругу. И таких людей – десятки тысяч.

²¹ Балабан П. Точка зрения: система грантов. <https://postnauka.ru/talks/24456>.

это критерии оценки заявок. Чтобы не быть голословными, рассмотрим недавний опыт одного из соавторов данной статьи. Вот выдержки из экспертных оценок его заявки на грант РФФИ:

Эксперт 1. «В мировой литературе это направление исследований совсем свежо. ... Предполагается исследование нового явления с применением классических методов. ... В целом – интересный, оригинальный проект, начинающий разрабатывать новую малоизвестную область». Но! «Публикационная активность заявителя невысока». Научный задел невелик. Автор практически не раскрывает экспериментальный дизайн. Эксперт 2. «Проект в целом интересный». Но! «Нет ни одной ссылки на работы в этой области». Коллектив имеет публикации по различным темам. Очень низкая публикационная активность руководителя проекта. Эксперт 3. «Насколько мне известно, исследования в этом направлении либо не проводились вовсе, либо были очень ограниченными. ... Проект имеет фундаментальную направленность и ставит целью решение интересной и важной проблемы. Предлагаемые методы исследования соответствуют мировому уровню». Но! «Сейчас очень трудно утверждать, будут ли получаемые результаты опубликованы в ведущих международных журналах. ... Заявители не привели никаких данных литературы о том, насколько эффективно протекает процесс (xxx) в норме и при патологии. Из текста проекта трудно понять, до каких величин поднимается (xxx) в норме и при патологии...»

Итак: с одной стороны, признано, что проект направлен на решение «интересной и важной» проблемы, на изучение того, что пока еще не изучено. С другой стороны, у заявителя малое число публикаций. (Но даже если много, как могут они быть на заявленную тему, по которой публикаций вообще практически нет. Какой может быть задел по работе, которую никто не делал? Как заранее можно знать, «насколько эффективно протекает процесс в норме и патологии?», если именно это и надо выяснить.) «Практически не раскрыт экспериментальный дизайн»? (А как можно «практически раскрыть» план движения по пути, по которому никто не ходил, и неизвестно, что там будет по ходу дела?)

Если совсем убрать словесный туман, остается следующее.

В проекте поставлены важные для науки вопросы, на которые нет ответов. Нет ответов – нет финансирования. Зачем исследовать неизвестное? Фундаментальные исследования – это когда исследуют то, что уже фундаментально исследовано, и получают запланированные результаты, гарантирующие публикации в «ведущих международных журналах».

Вот это и называется фундаментальной наукой – здесь и сейчас²².

Можно только посочувствовать экспертам, поставленным между Сциллой и Харибдой научной объективности и административной ответственности. Ведь и вправду, согласно инструкции, оценивать выполнение проекта надо будет строго по пунктам плана, и если новые (= неожиданные) результаты направят исследование по пути, отличному от плана, работа уже в первый год, до конца трехлетнего срока выполнения, будет считаться невыполненной, даже если будет сделано больше и получится интересней, чем предусмотрено планом.

Да и вообще, действительно ли все, что отвергается экспертами, никогда ничего не стоит?²³

Есть и еще один момент, можно сказать, парадокс. Если ставить публикации в «ведущих международных...» в качестве основного результата выполнения работ по гранту, то надо бы учитывать, что, чем более «ведущим» является международный журнал, тем больше внимания при рецензировании статей в нем уделяется новизне, реальному вкладу в научный прогресс, а не соответствию тому, что и так уже известно. Таким образом, экспертные оценки заявок на грант, с одной стороны, и результатов работы по гранту, с другой, вступают в явное противоречие.

О том, насколько важно для всей науки, и отечественной в особенности, обеспечить качество рецензирования – как заявок на гранты, так и статей в научных журналах, которые учитываются при рассмотрении заявок, – на страницах «Биосферы» уже писалось неоднократно²⁴. На рецензировании статей мы остановимся ниже в соответствующем разделе, а о рецензировании заявок следует отметить вот что.

²² На самом деле не только здесь и не только сейчас. Проблема одержимости наукометрическими показателями обострилась повсеместно, как свидетельствует вызвавший широкий отклик комментарий под названием «О пользе бесполезного знания» (<http://www.nature.com/articles/s41570-016-0001>), который завершается словами президента США Франклина Д. Рузвельта: «Научный прогресс на широком фронте является результатом свободного действия свободных умов, выбирающих в познании неизвестного свои пути, диктуемые любознательностью».

²³ Вот некоторые примеры, вошедшие в историю науки как перлы экспертной близорукости: «Теория Луи Пастера о микробах – смешная фантазия» (Пьер Паше – профессор психологии университета Тулузы, 1872 г.); «Камни с неба падать не могут, им там неоткуда взяться!» (Парижская академия наук устами великого А. Лавуазье о метеоритах, 1772 г.); «Летательные аппараты тяжелее воздуха невозможны!» (Лорд Кельвин – выдающийся физик, президент британского Королевского научного общества, 1895 г.) – после попыток поднять в воздух паровые монопланы (А.Ф. Можайский, 1882; К. Адер, 1890; Х.С. Максим, 1894) за 7 лет до первого полета братьев Райт; «Фагоцитоз – восточная сказка, родившаяся в казачьей голове» (видный немецкий микробиолог и гигиенист Ю.Р. Петри об открытии И.И. Мечникова в 1885 г.).

²⁴ Голубев А.Г. Проблема рецензирования в журнале «Биосфера» и не только. Биосфера. 2010;2(4):i-v; Пути и перипетии междисциплинарных научных исследований. Биосфера. 2015;9:267-71.

Во всем мире добросовестность рецензентов зиждется на том, что люди, относящиеся к их кругу, являются носителями научной психологии, системы ценностей, характерной для профессиональных ученых, они дорожат своей принадлежностью к ученому сословию, предназначенному обществом для познания нового, и поэтому готовы работать над рецензиями добросовестно, объективно и безвозмездно. Но всегда ли в наше время у тех, кто формально является работником научной или образовательной организации, доминирует научная психология, академическая, а не иная система ценностей? Особенно в стране, где еще недавно была мощнейшая отраслевая наука, и многие кадры, работавшие и сделавшие карьеру в ней, изначально готовились быть врачами, инженерами, экономистами, учителями, а совсем не профессиональными исследователями, да и сейчас занимаются наукой, прежде всего, как имеющие ученые степени и звания главные врачи, командиры производства, администраторы? Это не говоря уже о юристах, менталитет которых не совместим с наукой в принципе.

«Вот способ отличить научный склад ума от юридического. Оба, ученый и юрист, могут начать с мысли о невозможности чего-либо и задуматься об аргументах, почему оно так. Однако возможно, что в аргументах будет найден изъян. Тогда ученый изменит свою позицию, станет искать способ осуществить то, что казалось неосуществимым, и удовлетворится новым результатом. Юрист же постарается замазать или скрыть изъян, потому что, если уж он выбрал позицию, то все свои способности употребит на ее защиту» (Джон Маккарти, автор термина «искусственный интеллект»²⁵).

В идеале, каждый исследователь уже в начале карьеры должен получить возможность для самостоятельного научного проекта²⁶. Но на научные исследования из государственного и общественного карманов в России выделяется явно недостаточно средств, чтобы стремиться к такому идеалу. Что до медицины, то источником новых идей для нее служат наблюдения и потребности практического здравоохранения. Стало быть, практический врач для того, чтобы служить науке хотя бы косвенно, своими наблюдениями,

²⁵ <http://www-formal.stanford.edu/jmc/sayings.html>

²⁶ Это почти житейское наблюдение получило недавно научное подтверждение в Национальном бюро экономических исследований США (M. Packalen, J. Bhattacharya. Age and trying out new ideas. Working Paper 20920. <http://www.nber.org/papers/w20920>). Пользуясь возможностями ISI WoS, исследователи сопоставили возраст авторов всех биомедицинских статей, опубликованных с 1946 г. по наше время, с возрастом идей, на которые ссылаются авторы в этих статьях. Между возрастом первого автора и возрастом идеи, на которой строится работа, была найдена положительная корреляция. На этом основании авторы подчеркивают важность приоритетного финансирования работы молодых исследователей.

должен иметь возможность «голову поднять», а не заниматься исключительно выживанием²⁷, будучи перегруженным на нескольких совместительских ставках.

О гуманитарных науках, особенно русистике и славянской филологии вообще, в аспекте публикаций в международных англоязычных журналах здесь речь не идет. Это особая тема.

Журналы и публикации

Научная работа и публикации тесно связаны между собой. Если включать в трудовой договор с сотрудником вуза пункт об обязательной ежегодной публикации какого-то количества статей в журналах того или иного уровня, это должно сопровождаться обязательством другой стороны договора, работодателя, гарантировать для этого определенный объем финансирования сверх минимума, необходимого для поддержания жизнеспособности «научного работника» – причем заблаговременно, с учетом предполагаемых затрат до, а не после публикации. Но даже в таком случае результаты профинансированной таким образом работы могут быть опубликованы лишь через 2–3 года от ее начала – с учетом планирования и выполнения + прохождения подготовленной статьи в редакциях высокорейтинговых журналов, не первый из которых ее обязательно примет (в требованиях к заявкам на финансирование можно встретить конкретизацию журнала, соавторов и названия статьи; а если рецензент предложит улучшить название?). На подготовку такой статьи даже на основе уже готовых результатов при необходимости реального согласования позиций с соавторами, зачастую из других институтов, городов и даже стран, вполне уходит не один месяц, на рецензирование еще до трех + еще несколько, если по результатам рецензирования потребуется существенно переработать статью, а то и провести уточняющие исследования, – и считай, что ты молодец, если не отклонили сразу. И все это – не двойные стандарты в применении к российским ученым. Со всяким, независимо от гражданства, такое может случиться. Но не со всяким трудовой договор составляется на год-полтора, как это практикуется здесь и сейчас.

Старт наукометрическому буму в РФ дал указ Президента Российской Федерации № 599 от 07.05.2012 «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки», где было предусмотрено «увеличение к 2015 году доли публикаций

²⁷ В США в 2009 г. годовой средний доход врача был в 6,3 раза больше среднедушевого дохода местного гражданина, в Австралии – в 7,6 раза, в Голландии – в 6 раз, в Норвегии – в 1,6 раза, в небогатой, в отличие от всех этих стран, Польше – и то в 1,9 раза больше годового дохода среднего гражданина, но в России проведенный нами для 2012 г. подсчет дал немисливо низкие 0,71 от среднедушевого дохода! (Чурилов Л.П. Глобализация, постмодерн и международное медицинское образование. Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2013;8(1):119-59.)

российских исследователей в общем количестве публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (Web of Science), до 2,44 процента». Точность целеполагания (0,0244, четвертый знак после запятой!) произвела на администраторов столь сильное впечатление, что разница между показателем и тем, что он показывает, потеряла для них всякое значение. Очевидно, что долю публикаций можно увеличить, (1) если повысить качество научных результатов, которые в них представлены, то есть увеличить процент публикаций, проходящих через фильтр рецензирования, и (2) если увеличить давление на фильтр количеством публикаций. Но цель поставлена так, как она поставлена, и для ее достижения теперь все средства хороши.

Стремиться надо бы на самом деле к повышению уровня исследований до такого, чтобы их публикация в российских журналах стимулировала иностранных издателей биться за право перевести их на английский²⁸, и надо бы обязать авторов исследований, проведенных на российские гранты, публиковаться в российских же журналах. Но для планирования, конкурсного отбора, проведения таких исследований, оформления их результатов и, наконец, публикации – трех лет маловато будет, а цель-то поставлена. И вот администраторы от науки вынуждают всех, кто может, ломиться всеми правдами и неправдами в англоязычную научную среду, где уже на уровне языка многие не по своей воле и квалификации попадают во второй сорт. Это обстоятельство даже в англоязычной научной литературе уже отмечается как неприличный перекося²⁹. Особенно остро он воспринимается в деле охраны окружающей среды ввиду того, что действия на местах могут сказываться повсеместно, но при этом оказываются оторванными от международного опыта³⁰.

Практика стимуляции надбавками к зарплате за публикации в иностранных журналах на английском языке с высокими импакт-факторами вынуждает российских ученых при несоизмеримо меньшем финансировании науки³¹ доказывать свое право на место под

²⁸ На самом деле, ведущие издания РАН, существующие еще со времени СССР, были оптом скуплены в 1992 г. компанией Pleiades Publishing (см. ссылку²). И за переводы на английский там платят очень неплохо по нашим меркам. Стало быть, есть за что... Юридический адрес владельца журналов РАН, в отличие от общеизвестного физического адреса на Профсоюзной улице в Москве, – на Британских Виргинских островах (см. http://elibrary.ru/publisher_about.asp?pubsid=2423), известных как оффшорный рай.

²⁹ Ballabeni A. Levelling the lingo playing field. *EMBO Reports*. 2015;16:769-70.

³⁰ Amano T, González-Varo JP, Sutherland WJ. Languages Are Still a Major Barrier to Global Science. *PLoS Biology*. 2016;14:e2000933.

³¹ Валовый внутренний продукт (\$, млрд), расходы на науку и научные публикации ученых крупнейших экономик (US \$, млрд) в 2013 г. и их вклад (%) в публикационную активность в мире соответственно: США – 16768,457 (27,5); Китай – 16158,337 (13,8); Германия –

солнцем на страницах международного журнала против бойцов, которые по финансовому обеспечению одной публикации относятся к совсем иной «весовой категории». А за публикации в российских изданиях, вполне авторитетных в соответствующей отечественной научной среде – в первую очередь это относится к русистике и славянской филологии, – сотрудник вуза при вычислении рейтинга получает 0 баллов. И возникает вопрос: какой будет реальный *отдаленный* результат такого подхода? Можно, конечно, сослаться на реалии других стран, например Швеции, где диссертант прилагает к своей работе по молекулярной биологии публикации в англоязычных научных журналах, а не работы, написанные на родном шведском. Но на шведском в мире говорят куда меньше людей, чем на русском, и в Швеции, свободно общающейся с Британией, свободно владеет английским много больший процент людей, чем в России.

Так что же, представив азбуку, отличную по графике от западноевропейской, Кирилл и Мефодий обрекли российскую науку на второсортность? Ничуть. Утверждения, что Россия, якобы, не в состоянии обеспечить достойный уровень публикаций своих ученых на русском языке – несостоятельны. Эта ситуация – искусственная. Но для ликвидации этого безобразия нужна финансовая поддержка журналов, в том числе дополнительное поощрение, если не прямое финансирование, реального и немалого труда рецензентов и переводчиков (англоязычных редакторов), нужна поддержка создания и работы двуязычных сайтов журналов.

Вот здесь бы и нашлось поле деятельности для меценатов. Примером, причем, похоже, единственным, является издающий журнал «Биосфера» Фонд научных исследований «XXI век», который существует в основном благодаря поддержке от Торгово-промышленной группы «Петросити» (Санкт-Петербург) – генеральный директор А.И. Новиков, он же Президент ФНИ XXI век.

Чем больше публиковаться, тем больше будет публикаций – вот что следует из слайдов в презентациях о достижениях вуза. Но сколько бы ни было слов в статьях, каков сухой остаток: изобретения и патенты, открытия, идеи, факты и пр. – каковы реальные достижения? Это решает только время и не в пределах пары отчетных лет. Японский хирург Хакару Хасимото (1881–1934) опубликовал за всю карьеру лишь *одну* статью, основанную лишь на 4 клинических случаях. Этого хватило, чтобы обессмертить его имя, так как он открыл первую клеточно-опосредованную

3539,101 (7,4); Россия – 3591, 41 (2,1) (Бобылов Ю.А. Россия может преодолеть глубокий научно-технический кризис, кардинально реорганизовав Минобрнауки РФ. Национальная безопасность и стратегическое планирование 2016;(3). http://to-future.ru/wp-content/uploads/2016/10/%D0%9D%D0%91%D0%B8%D0%A1%D0%9F_%E2%84%9615.pdf).

аутоиммунную болезнь человека. Процитировали его впервые лишь много лет спустя, когда осознали, что эта болезнь – массовая и повсеместная. Когда молодой ученый Фрэнсис Пэйтон Раус (1879–1970) опубликовал в 1913 г. странноватую статью о переносе опухолей кур бесклеточными фильтратами гомогената ткани – ее десятилетиями никто не замечал. Нобелевской премией за нее Рауса увенчали только 55 лет спустя, когда он этой тематикой уже давно бросил заниматься: переключился на консервирующие растворы для крови. Немецкому хирургу Вернеру Форсману (1904–1979) его эксперимент на себе с катетеризацией сердца, проведенный на первом году работы хирургом, сразу после окончания университета, обошелся в выговор от главврача больницы, а затем – и в увольнение с работы. В дальнейшем у него не было возможностей заниматься наукой в течение почти 20 лет, и если бы в период пребывания в плену у союзников его работу не прочли американские коллеги – Нобелевская премия через 27 лет после его «мальчишества», не одобренного администрацией, могла бы и не состояться. Это крайние случаи, и можно даже считать, что авторы ни на что не повлияли в свое время, потому что опередили его, но известно много других примеров²².

Очевидно, что ни числом работ, ни количеством цитирований невозможно в полной мере оценить настоящий вклад ученого в науку. Поэтому стоит задуматься, насколько адекватна оценка конкретного исследователя по безразмерному показателю, пригодному только для статистики, которая по своей сути оперирует только множествами.

В мире уже об этом задумались. Результатом стал так называемый «Лейденский манифест», обнародованный в 2014 г. Вот несколько комментариев к нему в журнале Nature³²:

«То, что оценки базируются на цифрах, а не на суждениях, стало проблемой. Метрики множатся – обычно при лучших намерениях, но не всегда при хорошей осведомленности, и часто в скверном исполнении. Метрики все шире внедряются в организациях без понимания того, как их интерпретировать... Университеты одержимы своими местами в глобальных рейтингах, таких как Шанхайский и “Таймс-Высшее Образование” (Times-Higher Education), которые основаны на неточных данных и произвольных показателях... В некоторых университетах решения о карьерном продвижении сотрудников строятся на индексе Хирша или на числе статей в журналах с высоким импакт-фактором... В Китае и Скандинавии некоторые университеты обосновывают поощрительные меры численными показателями». – Авторы не скрывают своего смятения, но, как видно, не в курсе происходящего на пространстве между Китаем и Скан-

³² Hicks D, Wouters P, Waltman L, de Rijcke S, Rafols I. Bibliometrics: The Leiden Manifesto for research metrics. Nature. 2015;520:429-31.

динавией, где взят курс на состязание с остальным миром в скорости движения науки по пути в никуда.

В Манифесте выдвинуты десять принципов надлежащей практики применения наукометрии. Вот некоторые: «1) *Количественная оценка должна быть вспомогательной по отношению к качественной, экспертной... Индикаторы не должны заменять собой неформальную оценку.* 2) *Оценку исследователю необходимо давать с учетом задач, стоящих перед ним... в частности, с учетом пользы для общества, а не только чисто академических достоинств.* 3) *Качество исследований часто приравнивают к их публикации на английском языке... Этот перекокс особенно значим в социальных и гуманитарных науках... Необходима защита исследований, имеющих локальное значение.* 6) *Необходимо учитывать различия в практике цитирования, свойственные разным областям знания».* В качестве совсем одиозного приводится пример, когда группа историков получила низкий рейтинг, потому что опубликовала книги, а не статьи в журналах...

Наукометрическая статистика – полезный инструмент в умелых руках, но нельзя молотком колотить по всему, что попало. Для публикаций по генетическим факторам риска заболеваний нормально, когда число соавторов – 20–50 и даже больше. Можно ли считать публикационную активность, тем более вклад в науку, научного сотрудника, стоящего в середине таких списков при полудюжине таких статей, более высокой (им), чем у автора трех статей, имеющего одного-двух реальных соавторов? Но, с другой стороны, как убедиться в том, что эти два реальные? Три автора соображают на троих: пишут по статье, и каждый из них берет в соавторство двух других. И вот уже у каждого публикационная активность выше, чем если два берут в соавторы друг друга на условиях взаимности. Но для отчетности перед вышестоящими инстанциями, находящимися от реалий науки еще дальше, чем подающая отчет администрация, и такое сойдет. Поэтому для администрации интересней думать не о нюансах снизу, а о том, как лучше в целях собственной отчетности, подаваемой наверх, выстроить научную и учебную работу в подведомственном учреждении. И она выстраивается так, что в результате **не администрация научного и/или высшего учебного заведения обслуживает интересы науки и образования, а преподаватели и ученые обслуживают интересы администрации... Мир наизнанку, где наука на дне общества.** Дальше ситуация начинает развиваться в полном соответствии с уже упомянутым принципом Питера (см. сноску 1) и законами Паркинсона.

А кончается все случаями, когда уволенным оказывается профессор, воспитавший многих сотрудников на своей кафедре, создавший значимые труды

по своей специальности, но не допущенный на конкурс в связи с формальным отсутствием публикаций в «индексируемых» изданиях за недавний короткий период.

Профессор Императорского Санкт-Петербургского университета В.И. Вернадский подчеркивал, что науку делают не организации, государства, партии и институты – а человеческие личности. Только их живое дыхание, писал он, в науке и чувствуется, а если работал коллектив – то личностей и под руководством личности; другой – отдельной от личностей – творческой силы в науке нет³³.

На самом деле все вполне в природе вещей (если быть в курсе этой природы, а не только очередных указаний от тех, кто в курсе лишь того, что сам же и указывает). На скудной почве высокопродуктивные культуры не выживают. Выживают сорняки, все силы которых направлены на собственное выживание, – и если это под лозунгом «Publish or perish!»³⁴ («Публикуйся или сгинь»), то мы имеем сегодня то, что имеем.

Кроме подавления реальной научной жизни, установка на наукометрию создала питательную среду не только для имитаторов научной деятельности, но и для околонучной коммерции. Журналы заключают негласные договоры и выполняют план по взаимному цитированию. Установка на регистрацию во всевозможных наукометрических базах сделала почтовый ящик ученого мишенью спама: реклам фейковых конференций, предложений опубликоваться за деньги в желаемой наукометрической базе – благо теперь те, кто стремится заработать на нуждах не самых богатых российских ученых, имеют в своем распоряжении базы данных со ссылками на статьи, где можно найти контактные данные.

Стали реальностью такие формы околонучного бизнеса, как открытие издания «под ключ», его регистрация в РИНЦ, а затем посредством спам-рассылок ловля научных сотрудников, находящихся под административно-наукометрическим давлением, на крючок публикации³⁵, получаемой за относительно небольшую плату, зато быстро и с «открытым доступом» – и о ваших достижениях узнают все.

Открытый доступ к научным публикациям – отдельная тема. Дебаты о его допустимости, обоснованности,

³³ Вернадский В.И. Вопрос о естественных производительных силах в России с XVIII по XX в. <http://vernadsky.lib.ru/e-texts/archive/sily.txt>. (дата обращения: 20.02.2017).

³⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Publish_or_perish. Эта статья Википедии есть только на английском. А надо было бы перевести на русский – к сведению энтузиастов публикационной активности.

³⁵ «Хищные» журналы и «мусорные публикации». Как не дать себя обмануть. <http://science-insight.com/analitika/predatory-journals>.

целесообразности не утихают. Но с тех пор, как научные статьи стали размещаться на сайтах издателей и электронных библиотек, доступ к ним стал открытым по факту вне и независимо от сознания и намерений редакций и издательств. Метаданные статьи (авторы, название, реферат) открыты в любом случае. Даже если у вас нет подписки на журнал, где опубликована статья, реферат которой вас заинтересовал, вы можете обратиться к коллеге в том институте, где подписка есть, или к авторам статьи, в распоряжении которых издатель предоставляет pdf их публикации, и вот вам уже не надо платить 30 долларов за доступ к одной статье в «высокорейтинговом англоязычном». Вообще несколько не надо платить. А можно поступить еще проще: кто в теме, тот знает. Поэтому издателям не остается ничего иного, кроме как переложить компенсацию издержек на подготовку публикаций с потребителя (читателя) на производителя (авторов). Все остальное – лозунги, оправдания и пыль в глаза. Авторы же в условиях наукометрического бума вполне уже готовы платить, лишь бы быть опубликованным и процитированным, а шансы быть процитированным выше у тех, чьи публикации доступней. В мире к этой ситуации уже приновились. Если прежде в грантах предусматривались расходы на доступ к научным статьям, теперь предусматриваются расходы на публикацию статей. Просто деньги переложены из одного кармана брюк в другой, а брюки те же. Но это там, где есть брюки: работающая грантовая система. А там, где нет? Там получается вот что: вы, ученые, сначала опубликуйте свою статью, например, в PLoS Biology или PLoS Medicine (PLoS = Public Library of Science, Публичная научная библиотека) за 1250 долларов, а мы, администраторы, потом будем решать, есть ли основания компенсировать вам эти расходы. А если статья вышла не под тем названием, которое указано в утвержденном плане работы... то вот и еще одна неувязка между требованиями к «научным работникам» и объективно существующими возможностями удовлетворять этим требованиям.

Вторая сторона ситуации состоит в том, что технические возможности для производства научных публикаций теперь не ограничены ценами на бумагу, ее доступностью и типографскими расходами. Результатом стал шквал новых издательств и новых журналов, существующих лишь в виртуальной реальности. Их единственная цель состоит в извлечении сравнительно небольшой платы с каждого из многочисленных авторов, вынуждаемых проявлять максимум публикационной активности и подкупаемых доступностью и скоростью публикации. Опубликоваться в таком журнале, конечно, можно. Но рассчитывать на то, что вас прочитают и процитируют, не стоит (“write-only journals” – журналы для писателей). Если в них и заглядывают, то только из любопытства, чтобы потом

никогда больше этого не делать. Но даже солидные журналы открытого доступа, у которых средства на существование прямо зависят от числа публикуемых статей и только косвенно от желающих познакомиться с ними (не будут вменяемые люди направлять свои работы в издания с репутацией мусорных), отвергают намного меньший процент статей, чем традиционные подписочные журналы³⁶, где открытый доступ сейчас предлагают авторам только как платную опцию. Но ведь, по мудрому определению из законодательств некоторых передовых стран, любые сведения, публикация которых хотя бы частично оплачивается автором, – есть не что иное, как *реклама*. Рекламу можно верить? Можно, только если она будет проходить тщательную проверку на достоверность.

И мы опять возвращаемся к проблеме рецензирования. В связи с этим приведем реплику одного из соавторов настоящей статьи на форуме по теме научных публикаций³⁷:

«Ключевой позицией для качества научных публикаций, особенно в условиях открытого доступа к ним, является позиция рецензента. Всякий раз, направляя статью в “ведущий международный англоязычный” журнал, автор этих строк убеждался в тщательности рецензирования, благодаря которому на выходе статья оказывалась лучше, чем была на момент подачи. И отказ как-то раз получил по делу. Зачем тамошним рецензентам это? Это ведь сколько времени надо на подготовку таких рецензий! Да еще повторных... Откуда такие альтруисты берутся? Откуда – известно, потому что сам регулярно получаю запросы на рецензирование от таких же журналов. Как они докопались? Все так же. Редакции нужен рецензент по теме полученной рукописи? – обращаются в Скопус (можно и в общедоступный Google Scholar – Академия Гугл), находят авторов, засветившихся по этой теме, рассылают запросы, партройка соглашается, и неважно откуда, из США, Габона или России. Зачем соглашаются? Затем, что поступиай с другими так, как хочешь, чтобы другие поступали с тобой. У тебя нашли огрехи, чтобы ты от них избавился, предложили добавить то, чего сам не досмотрел? Не дали вынести на всеобщее обозрение то, что лучше не надо выносить, да еще и объяснили, почему? Вот будь добр и ты так поступиай с другими. На этом и держится качество научных публикаций там, где оно есть. Поэтому к числу квалификационных признаков при защите – ну, кандидатских может и нет, а докторских точно, – надо добавить наличие рецензий для “журналов, индексированных там-то и там-то”. Ибо пригласили соиска-

теля стать рецензентом только потому, что он показал себя в качестве автора. И если это сделать, то проблема поиска добросовестных рецензентов будет уже не такой острой, как сейчас. Соискатели в очередь встанут за право дать рецензию. И есть уже сайт <https://publons.com>, где индексируются рецензии для “индексированных” журналов, и этот ресурс уже взаимодействует с редакциями журналов. Загрузил запрошенную рецензию на сайт журнала – сразу получаешь запрос на индексацию в Publons. Так что подтвердить участие в рецензировании теперь можно, а учитывать в рассмотрении заявок на получение должностей и грантов – нужно, как теперь в мире и делается все более. Вот бы и РИНЦ и РУНЭБ на это сподобились вместо того, чтобы проводить в Касабланке конференции на тему, как лучше российскому журналу попасть в Scopus. Но по пустыне ходить все равно долго еще придется».

А вот мнение вице-президента АН Татарстана Р. Хакимова³⁸: *«Сегодня всех сорентировали на повышение своего рейтинга, который почему-то считается результатом. Все кинулись платить деньги за публикацию статей, аж целые журналы скупают, которые в результате сами после этого теряют рейтинги, начали ликвидировать “неперспективные” направления с низким рейтингом, ...организовывать якобы международные конференции, некоторые из них проходят заочно, причем на любую тему с обязательной публикацией докладов в международных журналах – только заплати, и тебе нарисуют любой рейтинг. Профанация науки стала товаром в условиях рыночных отношений. Есть спрос – будет предложение. Ученые больше не говорят об открытиях, творческих проблемах, об интересах Татарстана, они покупают (!) рейтинги, а университеты занялись пиаром. Послушаешь их, в мире лучших университетов не существует. Там построили новые корпуса, здесь завезли уникальное оборудование, а открытий как не было, так и нет. Если ты нечаянно заговоришь о реальных научных исследованиях, то тебя примут за придурка: “Зачем тебе это?” Действительно, зачем? Всем нужны только рейтинги. Проблема в том, что рейтинг не может быть результатом и даже ориентиром».*

Проблема отечественной науки, которую обрисовывает татарский ученый, – не региональная, а всеобщая. В эпоху постмодернизма имеется тенденция превращения университетов в корпорации с заимствованием стратегий из рыночной деятельности в деятельность научную, из рыночного менеджмента – в научный. Хорошо ли это?

³⁶ van Noorden R. The true cost of science publishing. Nature, 28 March 2013, vol. 495. http://www.nature.com/polopoly_fs/1.126761/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/495426a.pdf

³⁷ <http://trv-science.ru/2016/12/20/opublikovatsya-zhelaete/>

³⁸ Хакимов Р. Когда за науку берется администратор, то может быть любой результат, только не научный. Бизнес-онлайн. Электронная газета Татарстана. <https://www.business-gazeta.ru/blog/309424>.

Если реформы отечественной науки будут идти по тому же пути без изменений положения ученых в обществе – не придем ли мы к ухудшению ситуации в науке вместо декларируемого улучшения?

Россия – великая цивилизация, колыбель множества блистательных умов. Если не верить в будущее ее науки, то что останется? Молодые ученые – граждане России должны иметь условия жизни и работы, позволяющие оставаться российскими учеными. Отток человеческого капитала – самое вредоносное для нового уклада экономики в стране. А между тем сейчас значительная часть российских выпускников вузов и молодых ученых сразу после университета или после защиты кандидатской диссертации уезжает за рубеж: в Германию, Великобританию, США, Канаду, Финляндию, Израиль, даже Иран, даже страны Дальнего Востока³⁹. Отечественная наука стареет: половине ученых перевалило за полвека. Приглашенные к нам на работу обладатели российских «мегагрантов для ведущих зарубежных ученых» общего положения и этой тенденции изменить не могут: их лишь десятки, а интеллектуальная миграция вовлекает десятки тысяч!

Другая сторона медали – это позиция и направление действий нашей научной диаспоры. Если китайские ученые, закрепившиеся на серьезных должностях в лабораториях и университетах США, Австралии, Канады и европейских стран, практически без исключений обязательно открывают в них широкую дорогу молодежи своей родины, принимают и продвигают стажеров, аспирантов, сотрудников из КНР, то для эмигрировавших из нашей страны в разные годы ученых такая линия поведения все еще редкость.

В развитии науки КНР фактор патриотической научной диаспоры играет ныне значительную роль⁴⁰. Люди врастают в чужой язык и культуру, наработывают связи, оставаясь китайцами, – и отсюда огромный прирост публикаций и цитируемости ученых КНР в англоязычной периодике. Для этого, как показывает опыт пост-маоистского Китая, достаточно 20–25 лет (при государственной поддержке процесса и при эмигрантах, благожелательных к своей Родине). Нам надо учитывать этот опыт. До 80000 отечественных ученых живут и работают вне России. На их работы приходится 90% ссылок на труды россиян в мировой литературе.

При всем при том у России все еще сохраняется первое место в мире по доле людей со средне-специальным или высшим образованием среди трудоспособного населения. Чтобы увеличить пользу от их присутствия, раз уж оно имеет место, надо менять

³⁹ Люльчак Е. Российские вузы куют кадры для Запада. <http://mimov.ru/arhiv/mn980/mn/11-1.php>

⁴⁰ Ларин А.В. Китай и зарубежные китайцы. М.: ИДВ РАН, 2008. 78 с.

многие аспекты экономической политики и идеологии⁴¹. Наука – это инструмент для поиска новых источников развития, для прогноза, а также – для экспертизы. Все эти три функции в современной России недоразвиты, и от ученых следует требовать решения именно этих задач⁴², отставив публикацию статей, повышение цитируемости и вхождение в рейтинги на второй план. Наука – важнейшая часть национального потенциала, ее цели – не продвижение определенных взглядов или фактов, не поддержание престижа того или иного вуза, а гораздо более серьезные (хотя и порой менее публичные) вещи. По свидетельству академиков И.В. Мелихова и Ю.Д. Третьякова, в химии на какое-то время остается в секрете от 50 до 80% информации, накапливаемой фундаментальной наукой, и 90–95% прикладной информации (причем последняя держится в секрете дольше). Каждая страна имеет собственный запас естественнонаучных знаний, из которого общим становится только часть, и глобализация принципиально этого не изменила⁴³.

Это никоим образом не призыв к изоляционизму, всего лишь к равновесию. Вспомним академика П.И. Капицу: *«Всякая культурная страна должна быть заинтересована в развитии большой науки и техники в мировом масштабе и всеми средствами должна содействовать их развитию. Узкий эгоизм, воображающий, что можно брать, не давая, может быть политикой только тупого человека. ... Мы должны всевозможными путями уметь использовать достижения мировой культуры, претворять их в жизнь, поднимая тем самым культурную жизнь нашей страны. Если другой раз мы этого не умеем делать достаточно интенсивно, то должны винить в этом только себя и не воображать, что путем засекречивания мы сумеем обогнать Запад. Всякое большое и принципиальное достижение техники всегда является результатом совместной работы. Поэтому я считаю, что в развитии большой техники, как и большой науки, в мировом масштабе принципиально заинтересована всякая культурная страна, так как от ее развития зависит развитие собственной культуры»*⁴⁴.

⁴¹ Глазьев С.Ю. О неотложных мерах по укреплению экономической безопасности России и выводу российской экономики на траекторию опережающего развития. М.: Институт экономических стратегий; 2015. <http://www.glazev.ru/upload/iblock/797/79731df31c8d8e5ca59f491ec43d5191.pdf>

Варзин С.А. Предисловие. Россия на духовном распутье. Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2016;11(1):7-14.

⁴² Малинецкий Г.Г. Российская наука. Последний рубеж. <https://izborskclub.ru/9951>.

⁴³ Мелихов И.В., Третьяков И.Д. У последней черты // Независимая газета – Наука. 1999; № 4, апрель.

⁴⁴ Всё простое – правда... Афоризмы и размышления П.Л. Капицы... / Сост. П.Е. Рубинин. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2015.

Но погоня за наукометрическими показателями в качестве главных критериев включенности в международную научную среду и главной мотивационной составляющей научной работы приводит к замене науки ее имитацией, выхолащиванию ее фундаментального и прикладного содержания; эта погоня уже стала и при существующих тенденциях может стать еще более серьезным тормозом в развитии науки, высшего образования и инновационной среды⁴⁵.

Едва ли можно прямо сейчас подвести итог этой непростой дискуссии, в которой приняли участие небезразличные к судьбе своей страны ученые и преподаватели из нескольких крупных российских вузов. Многие из отмеченного выше свидетельствуют о том, что в организации научной работы и образовательного процесса в высшей школе накопились системные проблемы, которые в совокупности могут серьезно подрывать национальные интересы. Но для решения этих проблем надо прежде всего осознать их наличие.

И в заключение еще раз процитируем Карла Теодора Ясперса, эпиграф из книги которого «Идеи университета» предпослан этой статье. Выдающийся философ и психиатр рассуждает о том, кто и как должен управлять наукой, а таковая воплощена у него в понятии «университет»⁴⁶:

«Университет является самоуправляющейся корпорацией, корпорацией с открытыми правами – од-

⁴⁵ Имаев В. Технология увеличения индекса Хирша и развитие имитационной науки. В защиту науки: Бюллетень Комиссии РАН по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных исследований. 2016;17): 39-51.

⁴⁶ Ясперс К. Идеи университета / пер. с нем. Т.В. Тягуновой; ред. перевода О.Н. Шпарага; под общ. ред. М.А. Гусаковского. Мн.: БГУ, 2006. 159 с.

нако он одновременно подчиняется воле государства, благодаря которому и под защитой которого он существует. Вследствие этого он по праву обладает двойным ликом. Вместо однозначного решения этой проблемы тут существует напряжение. Невозможно, чтобы университет стал просто самостоятельным, государством в государстве. При этом все же возможно, чтобы университет превратился во всего лишь (!!! – Прим. авторов статьи) государственное учреждение и тем самым лишился своей сущности и своей собственной жизни...

...Осуществлять политику с помощью хитроумных средств – не только несоразмерно университету, но и губительно для него. Университет должен открыто показать, что он такое и чего хочет. Его цели могут быть достигнуты только посредством истины и без всякого насилия, к которому стремится государство. Вместо такого рода борьбы скорее должна вестись духовная борьба за кооперацию государства и университета.

Профессор в первую очередь – не служащий, а член корпорации. Служащий является орудием исполнения политических намерений решающей инстанции; он обязан выполнять инструкции; или он как судья привязан к законам, которые обязан лишь применять; его этика заключается в надежном исполнении данных ему указаний.

Профессору же его основная работа предлагается в свободной форме; он обязан вести исследовательскую деятельность, где он все – вплоть до постановки вопросов – делает самостоятельно, не ориентируясь на мнения других. Решающей является только необходимость, присущая существу дела, которую никто внешний не может знать заранее или непосредственно, исходя из объективно проверенных результатов, и о которой, следовательно, никто не может судить тотчас же и раз и навсегда».



ПРОБЛЕМЫ ЦИКЛИЧНОГО И СТАЦИОНАРНОГО РАЗВИТИЯ ЦИВИЛИЗАЦИИ В ГЛОБАЛЬНЫХ МОДЕЛЯХ

Ю.Н. Сергеев, В.П. Кулеш

Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: unsergeev36@gmail.com; vpkulesh@gmail.com

Статья поступила в редакцию 29.10.2016; принята к печати 07.02.2017

На основе глобальной модели развития «Мир-2», реализованной на языке MathCad (Мир-2МС), рассмотрена долгосрочная перспектива эволюции цивилизации, при этом в качестве невозобновляемых рассматриваются только топливные ресурсы. Дан краткий обзор основных глобальных моделей и предлагаемых в них алгоритмов перехода к «устойчивому равновесию». С учетом известных в демэкологии данных о затухающих колебаниях численности популяций относительно предельной численности, которую может поддерживать окружающая среда, показано, что это происходит в случаях, когда ресурсы, необходимые для жизни популяции, были накоплены прежде, чем начался ее рост. Именно такая ситуация имеет место с ископаемыми топливными ресурсами. Принятое в исходной модели «Мир-2» начальное условие для «невозобновляемых ресурсов» занижено в 3–4 раза. Сценарии развития цивилизации, реализованные на модели «Мир-2МС», показали, что при увеличении запасов топливных ресурсов в системе возникают колебания всех ее компонент. Число циклов изменяется от 2 до 4. Ограничителями роста численности населения в каждом цикле являются не запасы топливных ресурсов, а дефицит продовольствия и загрязнение окружающей среды. В каждом сценарии наступает стационарное состояние цивилизации с численностью 1,3–1,5 млрд человек. В сценарии с учетом запасов сланцевой нефти число циклов возрастает до 15. При увеличении энерговооруженности цивилизации за счет термоядерной энергетики компоненты мировой системы переходят в режим незатухающих гармонических осцилляторов. Показано, что предотвращение повторяющихся циклов возможно только за счет регулирования численности населения. Первого цикла уже не избежать. Время упущено. Переход к стационарному движению цивилизации возможен после завершения первого или последующих циклов. Оптимальное время перехода зависит от положения локально-стационарного состояния численности населения на оси времени. Такое состояние определяется по фазовому портрету в плоскости «численность населения – коэффициент ее прироста» (кривая Олли). Численность населения в локально-стационарном состоянии рассматривается как начальное условие в логистической модели роста популяции, а допустимый порог численности принимается равным 1,5 млрд человек. Время достижения стационарного по Ляпунову состояния Мировой системы регулируется одним параметром – коэффициентом прироста численности населения в локально-стационарной точке.

Ключевые слова: цивилизация, глобальная модель, топливные ресурсы, цикличность развития, стационарное состояние.

CYCLIC AND STATIONARY MODES OF THE DEVELOPMENT OF CIVILIZATION IN GLOBAL MODELS

Yu.N. Segeyev, V.P. Kulesh

Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

E-mail: unsergeev36@gmail.com; vpkulesh@gmail.com

The World2 model of civilization was modified using the Mathcad software environment. Based on the resulting Mir-2MC model, long-term scenarios of the evolution of civilization were considered upon the premise that only fuel resources are unrenewable and were compared with the main conventional global models and the respective algorithms of transition of modeled systems to stable equilibriums. With account of the ecological demography data about convergent oscillations of populations on their ways to steady states below maximum levels sustainable by their environmental resources, it has been shown that this may occur if resources for growth have been accumulated before growth began. This is what is exactly true for fossil fuel resources. The initial level of unrenewable resources is underestimated three- to fourfold in the World2 model. The developmental scenarios suggested by the Mir-2MC model show that increasing the initial levels of resources may lead to oscillations of all components of a modeled system. The number of oscillations are in the range from two to four, and population size in each of the oscillation is limited by not fuel resources but by food deficit and environmental pollution. Each scenario leads to a stationary population size ranging from 1.3 to 1.5 billion. In scenarios accounting of shale oil resources, oscillations number may reach 15. Increasing the available power by thermonuclear power supplies transforms developmental trajectories into undamped harmonic oscillators. Only population control measures can be effective in preventing the repetitions of population size oscillation. The first oscillation is already inevitable. The time to prevent it has been lost. A stationary state is possible only following the first or the second oscillation. The optimal time of transition to a final stationary state depends on the position of the locally stationary state of population size in time. This state is determined by the phase portrait in the “population size – relative population increment” plain (Allee curve). Population size in a locally stationary state is assumed as the initial condition in the logistic model of population growth, and the tolerable threshold of population size is found to be 1.5 billion. The time to Lyapunov stationary state of the World system critically depends on the single parameter, which is population increment coefficient in the locally stationary point.

Keywords: civilization, global model, fuel resources, oscillatory development, stationary state.

Введение

Сегодня человечество переживает развивающиеся демографический, социально-экономический и экологический кризисы, постепенно перерастающие в катастрофу цивилизации. Невежественные люди не видят ее, а социальные оптимисты не верят в нее. Появившееся недавно успокаивающее понятие «устойчивое развитие», определяемое как «такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности» никак не способствует пониманию пути, ведущему к предотвращению или смягчению надвигающейся катастрофы.

Между тем, этот путь могут подсказать математические модели глобального развития. Создатель первой такой модели Дж. Форрестер (J.W. Forrester) свою концепцию глобального моделирования изложил на заседании комиссии палаты представителей конгресса США следующим образом: «Мой основной тезис состоит в том, что человеческий мозг не способен постигнуть, как функционируют социальные системы... На протяжении долгой истории эволюции для человека не было никакой необходимости познавать такие системы... Наши социальные системы несравненно более сложны и трудны для понимания, чем наши технические системы. Почему же мы в таком случае не моделируем социальные системы прежде, чем пытаемся внедрить новые законы и правительственные программы? Я настаиваю на том, что мы обладаем достаточными знаниями для создания полезных моделей социальных систем» [2, с. 191].

Проницательный исследователь природы и общества Дж. Форрестер включил в свою модель «Мир-2» все принципиально важные, решающие компоненты Мировой системы. Талантливая простота модели и, в то же время, ее способность отображать, воспроизводить и замещать объект исследования не остались без внимания.

Именно поэтому модель «Мир-2» послужила основой для многих последующих работ по глобальному моделированию, в том числе и нашей.

В настоящей статье речь пойдет о долгосрочной перспективе развития цивилизации. Будет показано, что в XXI столетии цивилизацию ожидает не катастрофа, а глубочайший кризис, за которым последует восстановление. Развитие цивилизации в третьем тысячелетии может носить циклический характер. Число циклов должно увеличиваться по мере возрастания энерговооруженности цивилизации. Переход к стационарному движению, соответствующему допустимому порогу возмущения биосферы, возможен только после завершения первого или последующего циклов развития. Показано, что для такого перехода целесообразно использовать логистическую модель роста численности населения.

1. ПОИСКИ ПУТИ К ГЛОБАЛЬНОМУ РАВНОВЕСИЮ

1.1. Учение Мальтуса

В 1798 г. английский епископ Т.Р. Malthus в книге «Опыт о принципах народонаселения» [38] сформулировал простейшую математическую модель роста численности населения P :

$$\frac{dP}{dt} = \varepsilon P. \quad (1)$$

Здесь t – время; $\varepsilon = \text{const} > 0$ – коэффициент прироста численности. Аналитическое решение этого уравнения имеет вид

$$P(t) = P_0 e^{\varepsilon(t-t_0)}, \quad (2)$$

где: P_0 – численность населения в начальный момент времени t_0 ; e – основание натурального логарифма.

Экспоненциальная функция роста численности населения (2) в классической демэкологии получила название кривой биотического потенциала. Она показывает, что при изменении времени (а не ресурсов!) в арифметической прогрессии численность населения растет в геометрической прогрессии при условии, что на популяцию не действуют какие-либо факторы, ограничивающие рост численности. При $\varepsilon = 0$ численность населения не изменяется, а при $\varepsilon = \text{const} < 0$ она уменьшается по экспоненте.

Наблюдающаяся у популяций животных отрицательная корреляция между ε и P свидетельствует о том, что существуют ограничивающие факторы, приводящие численность каждой популяции к оптимальному значению, соответствующему емкости среды ее обитания. Единственным видом среди животных, у которого наблюдается положительная корреляция между ε и P , является вид *Homo sapiens*, «человек разумный». Действительно, по данным статистики, за последние 189 лет численность населения планеты (млрд человек) возросла на 6,3 (в 1827 г. она составляла 1, в 1930 г. – 2, в 1960 г. – 3, в 1975 г. – 4, в 1987 г. – 5, в 2000 г. – 6, в 2012 г. – 7, в 2016 г. – 7,3. Коэффициенты прироста численности населения в XIX–XX вв. оцениваются величинами: $\varepsilon_{(1880)} = 0,0065$, $\varepsilon_{(1945)} = 0,0133$, $\varepsilon_{(1968)} = 0,0191$, $\varepsilon_{(1981)} = 0,0179$, $\varepsilon_{(1993)} = 0,014$, $\varepsilon_{(2006)} = 0,0128$. Таким образом, в период с 1827 по 1968 г. население Земли увеличилось даже быстрее, чем это следует из модели Мальтуса при $\varepsilon_{(1880)} = \text{const}$. Авторы одной из глобальных моделей развития М. Мессарович и Э. Пестель в 1974 г. писали: «Мир болен раком, и этот рак – человек» (цитируется по С.Б. Лаврову [14, с. 55]).

В модели (2) отсутствуют какие-либо факторы, ограничивающие рост численности населения. Интуитивно считается, что недостаток продуктов питания приведет к гибели цивилизации и поэтому войны,

эпидемии и голодоморы могут отсрочить апокалипсис. Антигуманный и бездоказательный характер этих утверждений, по-видимому, послужил причиной того, что классики научного коммунизма подвергли «мальтузианство» уничтожающей критике, объявив его антинаучной и реакционной теорией.

1.2. «Мальтусы с компьютерами» или провидцы?

В 1971–1974 гг. J.W. Forrester и O.L. Meadows предложили первые глобальные модели развития цивилизации «Мир-2» и «Мир-3» (World2, World3), построенные на принципе системной динамики – методе изучения сложных систем с нелинейными обратными связями, разработанном в Массачусетском технологическом институте [32, 39]. Английский экономист К. Фримен (К. Freeman), не согласный с апокалиптическим характером пророчеств модели «Мир-3», окрестил ее автора «Мальтусом с компьютером» [10, с. 144]. В зависимости от точки зрения это прозвище можно рассматривать как порицание или как комплимент. Порицание – за пророчество демографической, экономической и экологической катастрофы во второй половине XXI в., а комплимент – за сравнительную простоту модели, обеспечивающую понимание заложенного в нее алгоритма.

Модель «Мир-2» представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений пятого порядка. При задании правых частей уравнений используются графические (таблично заданные функциональные зависимости), описывающие нелинейные связи между компонентами Мировой социально-экономической системы: численностью населения P , капиталом (основными фондами экономики) K , долей сельскохозяйственного капитала X , загрязнением окружающей среды Z , запасами невозобновляемых природных ресурсов R [32]. Уравнения для переменных P , K , X , Z формируются с использованием балансового принципа:

$$d\varphi_i/dt = V_i^+ - V_i^-, i = 1, 2, 3, 4; \quad (3)$$

где: V_i^+ , V_i^- – скорости (темпы поступления или убыли компонентов системы);

φ_i – один из четырех компонентов.

В уравнении для переменной R балансовый принцип не соблюдается. Запасы невозобновляемых ресурсов могут только убывать со скоростью V_5^- , зависящей от численности населения и материального уровня их жизни.

Моделирование развития Мировой социально-экономической системы осуществлялось на временном интервале с 1900 по 2100 г. Начальные условия для компонентов модели принимались по данным мировой статистики. Параметризация и идентификация модели проводилась на интервале с 1900 по 1970 г. Параметризация заключалась в варьировании значе-

ниями параметров и табличных зависимостей в пределах той точности, с которой они известны из исторических данных.

Расчеты показали, что при современных тенденциях развития Мировой системы вслед за бурным развитием цивилизации в XX – начале XXI в. должна последовать катастрофа, связанная с истощением запасов невозобновляемых природных ресурсов, продуктов питания и загрязнением окружающей среды (рис. 1).

Начиная с 20–30 гг. XXI в. рост численности населения Земли прекратится, а в течение последующих 75 лет численность сократится на 2 млрд человек. Невозобновляемых природных ресурсов останется менее 1/3 начальных запасов. Загрязнение окружающей среды к 2050 г. в 7–8 раз превысит уровень 1970 г. Уменьшение запасов природных и трудовых ресурсов приведет в середине XXI в. к существенному сокращению выпуска промышленной и сельскохозяйственной продукции.

В поисках способа предотвратить катастрофу Дж. Форрестер выдвинул идею перехода к глобальному равновесию (нулевому росту компонентов системы). Моделирование одного из многих сценариев показало, что такой переход на промежутке времени 1900–2100 гг. возможен при следующих ограничениях: начиная с 1970 г. скорость потребления невозобновляемых природных ресурсов должна быть уменьшена в 4 раза по сравнению с 1970 г.; генерация загрязнений должна быть уменьшена в 2 раза; инвестиции в экономику должны быть уменьшены вдвое, а производство пищевых продуктов на 20%; рождаемость населения должна быть уменьшена на 30%. Нереальность выполнения этих требований очевидна.

Апокалиптические пророчества вызвали широкую дискуссию в печати. Критики модели «Мир-2», отмечавшие упрощенное описание структуры Мировой системы и отсутствие возможности воздействия общества на ее развитие, побудили Римский клуб продолжить финансирование исследований по глобальному моделированию. D.L. Meadows получил заказ на разработку модели «Мир-3» (Пределы роста [39]).

Модель «Мир-3» содержит 12 основных дифференциальных уравнений первого порядка для компонент Мировой системы, 16 вспомогательных дифференциальных уравнений, предназначенных для организации процедур сглаживания и эффекта запаздывания по времени для некоторых социально-экономических характеристик, а также ряда алгебраических выражений и таблично заданных функций. Компонентами модели являются: 4 возрастные группы населения; капитал промышленных и сервисных предприятий; площадь потенциально пригодных для обработки земель; урбанизированная площадь; разрушенная почвенной эрозией площадь; загрязнение природной среды; невозобновляемые природные ресурсы.

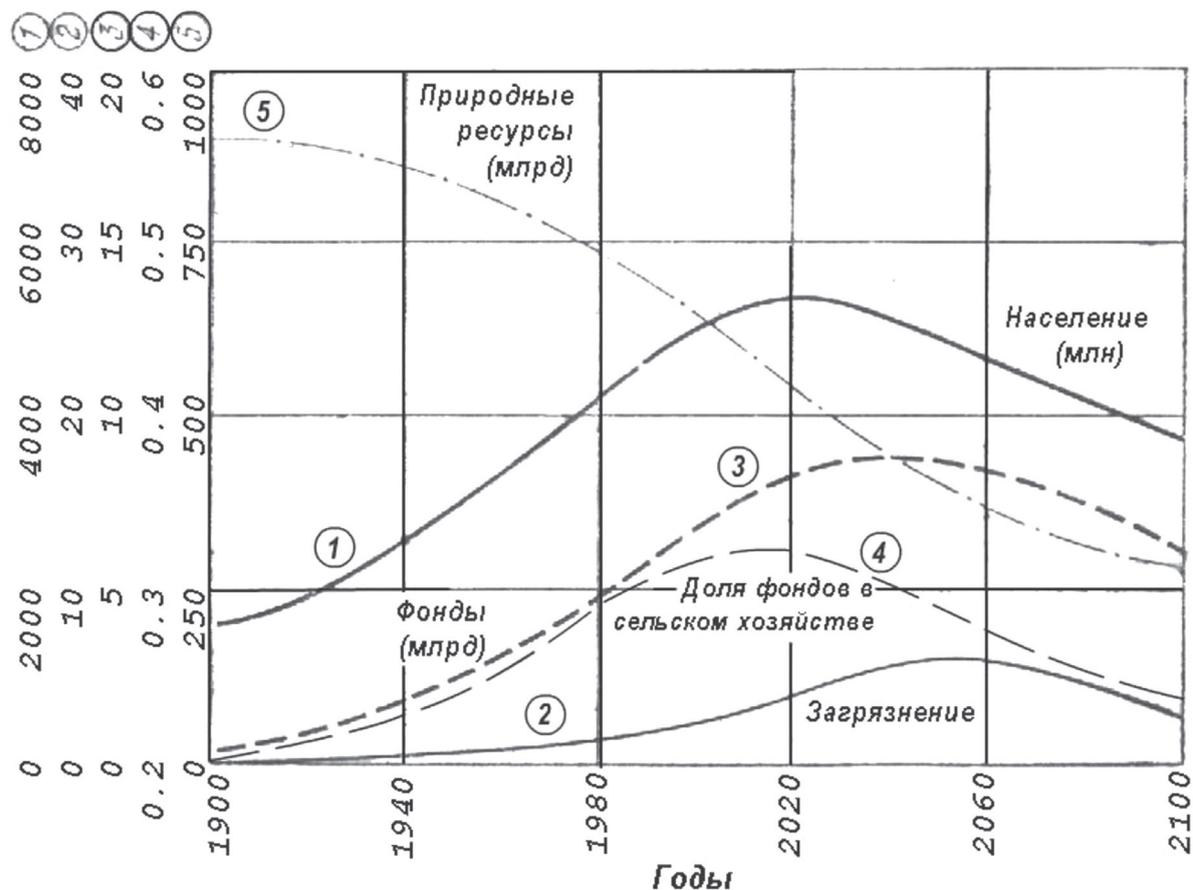


Рис. 1. Временная изменчивость компонентов глобальной социально-экологической системы в модели «Мир-2»; базовый сценарий [32]. Первоначальные запасы невозобновляемых природных ресурсов (100%) – $900 \cdot 10^9$ ресурсных единиц (РЕ)

Усложнение структуры модели «Мир-3» принципиально не повлияло на результаты моделирования. Расчеты показали, что во второй половине XXI в. произойдут демографическая, экономическая и экологическая катастрофы, вызванные быстрым ростом численности населения, недостатком продуктов питания, загрязнением окружающей среды и недостатком невозобновляемых природных ресурсов. Предотвратить гибель цивилизации, то есть достигнуть «глобального равновесия», согласно модели «Мир-3», можно только путем незамедлительного (то есть с начала 70-х гг. XX столетия) введения следующего комплекса мер: рождаемость должна обеспечивать лишь простое воспроизводство населения, а его численность должна быть стабилизирована на уровне 1945 г. (приблизительно 2,6 млрд человек); индустриальное развитие должно быть стабилизировано на уровне 1980 г.; потребление ресурсов на душу населения Земли не должно превышать 1/8 от уровня 1970 г.; время жизни основных производственных фондов должно быть увеличено в 1,5 раза; удель-

ная генерация загрязнений должна быть уменьшена до 1/4 по сравнению с уровнем 1970 г. Понятно, что эти условия невыполнимы.

1.3. Пространственно-неоднородные глобальные модели

Рассмотренные в разделе 1.2 пространственно-однородные модели не учитывают региональной дифференциации компонент Мировой социально-экологической системы. Поэтому дальнейшее развитие глобального моделирования на Западе шло по пути усложнения моделей. Осуществлялся переход от точечных (пространственно однородных) моделей к блочным моделям с пространственной структурой. Мир рассматривался не в целом, а дифференцированным на регионы. Вводились новые и дезагрегировались ранее использовавшиеся сектора экономики, демографии и экологии. Использовались разнообразные методы математического описания мысленных образов реального мира. К таким моделям относятся «Стратегия выживания» М. Месаровича и Э. Песте-

ля (М. Mesarovic, E. Pestel) [40]; Латиноамериканская модель глобального развития группы ученых во главе с А. Эррейрой (A. Herrera) [33–35, 42]; японский проект «Новый взгляд на развитие» Я. Кайа (Y. Kaaya) [36].

Вера в возможность наиболее адекватного отражения объекта изучения, свойственная исследователям этого направления, привела к появлению модельных «монстров», затрудняющих понимание принципов функционирования Мировой системы, и к сокращению временного интервала моделирования. В модели «Стратегия выживания» поведение системы изучается в интервале 1975–2025 гг., в Латиноамериканской модели – с 1975 по 2100 г., в японской модели «Новый взгляд на развитие» – с 1970 по 2010 г.

Модель «Стратегия выживания»

Примером системы «монстра» может служить модель «Стратегия выживания». В ней рассматривается взаимодействие 10 регионов Мира: Северная Америка, Западная Европа, Япония, Австралия и Южная Африка, СССР и страны Восточной Европы, Латинская Америка, Ближний Восток и Северная Африка, Тропическая Африка, Юго-Восточная Азия, Китай. Каждый регион описывается системой субмоделей: экономики, демографии, энергетики и т.д. Для каждого из регионов в модели выделены 19 категорий промышленного и 2 разновидности сельскохозяйственного капитала, 5 категорий капитала, занятого в энергетике. Отдельно рассмотрены капиталы, занятые в рыболовстве и горнодобывающей промышленности. Связь регионов происходит через миграции населения, экспорт и импорт.

Увлечение авторов географической дифференциацией регионов мира и избыточная детализация компонент модели видны из следующего примера. В демографических субмоделях рассматриваются смертность и возрастные переходы 85 одногодичных групп населения. В субмоделях производства продуктов питания рассматривается валовое производство 26 различных пищевых продуктов, вплоть до яиц, меда и съедобных потрохов. В кратком обзоре докладов Римскому клубу отмечается: «Если компьютерная модель Медоуза основывалась примерно на тысяче математических уравнений, то модель Месаровича-Пестеля содержала их более двухсот тысяч»¹.

Очевидно, что в модели «Стратегия выживания» нарушен один из основных принципов системного анализа, состоящий в том, что при моделировании сложных систем следует учитывать не все, а только наиболее существенные компоненты и связи соотношения система-оригинал. Это объясняется тем, что уравнения модели недостаточно точны по отношению к реальной системе, а данные социально-экономиче-

ского и экологического мониторингов, используемые при построении модели, содержат информационные шумы. Они связаны с погрешностями наблюдений и ошибками репрезентативности. Поскольку уравнения глобальных моделей существенно нелинейные, информационные шумы при их решении не подавляются, а возрастают, переводя модели из детерминированных в вероятностные [4]. Поэтому на больших промежутках времени модели «Мир-2» и «Мир-3», относящиеся к классу «точечных» по классификации Т.А. Айзатуллина, предпочтительнее «резервуарных».

Основным результатом модели «Стратегия выживания» является вывод, что цивилизации угрожает не глобальная катастрофа в середине XXI в., а серия региональных катастроф, наступающих в различных регионах одновременно и по разным причинам. «Новизна» этого вывода, в сочетании с трудозатратами на его получение, позволила С.Д. Дадаюну назвать создателей модели «Стратегия выживания» «компьютером без Мальтуса» [10, с. 145]. Авторы «Глобального доклада президенту США о перспективах на 2000 г.» дают такую оценку этой модели: «Ее структура чрезвычайно сложна. Настолько, что требуются недели, если не месяцы, чтобы понять ее либо принять на веру... Сделать выводы из анализа модели “Стратегия выживания” затруднительно... Очень трудно сказать, какие выводы были заранее вмонтированы в модель, а какие получены в результате ее реализации» (цитируется по [10, с. 150]).

Латиноамериканская модель глобального развития

В этой модели рассматриваются четыре региона: Африка, Латинская Америка, Азия, развитые страны. Функционирование каждого региона описывается пятью субмоделями: народонаселения, экономики и жилищного строительства, урбанизации, образования, питания населения. Регионы взаимодействуют между собой посредством торговли и безвозмездной помощи. Предполагается, что мировой кризис уже наступил и является следствием «порочности» общества потребления. Он не связан с истощением запасов природных ресурсов и загрязнением окружающей среды. Считается, что научно-технический прогресс позволяет без увеличения затрат разрабатывать месторождения с постоянно понижающейся концентрацией сырья, что термоядерный синтез является неисчерпаемым источником энергии, а эффективные технологии очистки загрязнений полностью решают проблему охраны окружающей среды.

Развитие каждого региона моделируется путем решения оптимизационной задачи. В качестве управляющих воздействий выбраны доли капитала и трудовых ресурсов. В модели реализованы два сценария взаимодействия регионов. В первом из них развитые

¹ <http://vals.narod.ru/rome1.htm#1>

страны не оказывают экономической помощи развивающимся регионам. Компоненты субмодели развитых стран уже через 20–30 лет, то есть к 1980 г., выходят на стационарный режим. Регион Латинской Америки достигает этого состояния через 40 лет, а компоненты субмоделей Азии и Африки не достигают стационарного состояния даже при оптимальном управлении. Во втором сценарии помощь развивающимся регионам оказывается начиная с 1980 г. и в течение 10 лет достигает 2% ежегодного конечного продукта фондообразующего сектора экономики развитых стран. В этом сценарии найдено управление, обеспечивающее стационарное развитие всех регионов модели. Для Азии и Африки компоненты модели достигают стационарного состояния приблизительно через 60 лет.

Таким образом с помощью пространственно-неоднородной глобальной модели впервые было показано, что экономическая помощь развитого региона Мира развивающимся регионам предотвращает катастрофы и переводит их социально-экологические системы в стационарный режим функционирования.

Экономические глобальные модели

Рядом исследователей построены специализированные глобальные модели, ориентированные на решение частных проблем глобалистики. При этом многие подсистемы мировой системы либо отсутствуют, либо считаются заданными и вводятся как внешние (экзогенные) переменные. «При таком подходе теряются основные преимущества глобального моделирования – системный анализ с учетом взаимного влияния различных факторов и процессов. Построение специализированных моделей должно осуществляться не “вырезанием” отдельного блока из общей структуры глобальной модели, а дезагрегацией одного или нескольких блоков с обязательным сохранением, хотя бы в самом агрегированном виде, их связей с остальной частью глобальной модели» [11, с. 20].

Особое место среди экономических моделей занимает проект «Будущее мировой экономики», созданный группой специалистов во главе с лауреатом Нобелевской премии В. Леонтьевым [37]. В основу проекта положен метод межотраслевого моделирования, известный как «анализ затрат-выпуска продукции». Для каждого из 15 регионов мира моделируются 45 секторов экономики. Рассматриваются 22 отрасли промышленности и строительства, 4 сектора сельского хозяйства, сферы торговли и услуг, транспорта и связи. Загрязнение окружающей среды моделируют 8 видов загрязнителей, и рассматриваются пять способов очистки. Модель, содержащая 2500 уравнений, реализуется на период 1980–2000 гг. по восьми сценариям развития мировой экономики. Проект направлен на проектирование экономического развития мира.

Под руководством лауреата Нобелевской премии Л. Клейна [12] создана система LINK. Эта система представляет собой совокупность разработанных независимо друг от друга моделей стран и регионов Мира, которые объединяются в «Мировую модель» посредством субмодели международной торговли. В систему LINK входят модели экономики США (207 уравнений), Канады (183 уравнения), Франции (32 уравнения), Великобритании (226 уравнений) и т.д. – всего свыше 20 региональных моделей. Система предназначена для экономических прогнозов с заблаговременностью до трех лет.

Особо следует рассмотреть модель «Будущее цивилизации и стратегия цивилизационного партнерства» на период до 2050 г., построенную под эгидой Международного института Питирима Сорокина – Николая Кондратьева коллективом ученых России и Казахстана [1]. Методика прогноза основана на использовании аддитивно наложенных логистической и циклической моделей. Их параметры определяются методом наименьших квадратов по временным рядам характеристик за период 1950–2006 гг. Составлен прогноз инновационно-технологического развития и баланса трудовых ресурсов по 12 локальным цивилизациям и по странам в каждой из них.

Рассматриваемая модель относится к классу статистических. Как и другие модели этого класса, она работоспособна только апостериори. Полученные модельные прогнозы на 2007–2050 гг. будут оправдываться в той степени, в какой можно ожидать повторения экономических ситуаций, имевших место в обучающих последовательностях за 1950–2006 гг.

Региональные модели развития

Первые доклады Римскому клубу, особенно «Пределы роста» с его всемирным резонансом, дали мощный толчок работам в области глобального моделирования, развернувшимся в 1970-е гг. Однако с разработкой все новых и новых моделей они привлекали все меньше и меньше внимания общественности, становясь узкой сферой деятельности и интересов специалистов. Римский клуб прислушался к многочисленным упрекам в «технизме» и стал искать более широкие подходы к глобальной проблематике². Так произошла инверсия различных этапов глобалистики, а именно, системный анализ сменился на системный подход. Глобальные математические модели заменила «вербальная глобалистика».

Но инверсии не бывают слишком продолжительными. «Узкие» специалисты продолжали создавать глобальные и региональные модели.

Первой региональной моделью с пространственной структурой был, по-видимому, многократно повто-

² <http://vals.narod.ru/rome1.htm#1>

ренный вариант модели «Мир-2», использующийся для исследования взаимодействия «богатых» и «бедных» регионов Швейцарии [43].

Разработанная в Ленинградском государственном университете региональная модель системы «СССР – города – сельские поселения страны – г. Ленинград» представляет собой симбиоз моделей «Мир-2» и «Мир-3» [26, 27]. При этом многие таблично заданные зависимости, отражающие интенсивности демографических, экономических и экологических процессов, получены по данным государственной статистики и экологического мониторинга СССР. В модели реализован принцип приоритетного действия системы верхнего иерархического уровня на подсистемы нижних уровней. Для упрощения задачи считается, что между системой страны и системами «регионов» существует только прямая связь: страна оказывает влияние на «регионы», но сама от них не зависит.

В конце этого раздела отметим, что подробное описание и анализ наиболее значимых «точечных» и пространственно-неоднородных моделей можно найти в книге Г.В. Осипова и В.А. Лисичкина «Глобальные модели развития человечества» [22]. Специалисту полезно ознакомиться со статьей [44], где обсуждается методология исследования того, что авторы называют антропоценом, и приводится перечень зарубежных публикаций, посвященных моделированию социально-экологических систем.

1.4. Восстанавливаем невозобновляемые ресурсы

В СССР и Российской Федерации опубликован ряд работ, посвященных поиску алгоритмов, выводящих глобальные модели на стационарный режим (в состоянии глобального равновесия). Авторы этих работ не строили новые модели, а занимались модификацией моделей «Мир-2» и «Мир-3». В основу исследований была положена идея перераспределения капитала Мировой экономики в пользу промышленного восстановления израсходованных невозобновляемых природных ресурсов и промышленной регенерации загрязнений. И все это предполагается осуществить в мировом масштабе за ближайшие 30–50 лет модельного времени, оставшегося до наступления мировой катастрофы, предсказываемой создателями моделей «Мир-2» и «Мир-3».

Первая модификация модели «Мир-2» была предложена В.А. Егоровым и соавторами [11]. Они ввели в правые части уравнений для невозобновляемых природных ресурсов и загрязнения среды управления в виде слагаемых (KU_R^0/C_R^0) и (KU_Z^0/C_Z^0) , а в уравнение для сельскохозяйственных фондов – множителем $(1-U_X^0)$. Здесь U_R^0, U_Z^0, U_X^0 – доли капитала K , направляемые на восстановление природных ресурсов, борьбу с загрязнениями и управление сельским хозяйством соответственно; $C_R^0 = 0,3, C_Z^0 = 0,4$ – число единиц капитала (ЕК), необ-

ходимое для восстановления единицы ресурсов и уничтожения единицы загрязнения. Управляющие функции для U_R^0, U_Z^0, U_X^0 являются функциями времени, и после их определения возникает возможность перераспределения капитала K между традиционными и новыми отраслями производства. Для определения управляющих функций решается задача оптимального управления: задается критерий и определяются функции, приводящие к максимуму выбранного критерия. Вариационная задача решалась на временном интервале 1975–2100 гг. и показала, что в XXI в. глобальной катастрофы можно избежать. Но при этом основные фонды предприятий, создаваемых для восстановления ресурсов и борьбы с загрязнениями, должны ежегодно возрастать, становясь в XXI в. сравнимыми со стоимостью фондов всех традиционных отраслей производства. «Соответственно и работа людей по предотвращению экономического кризиса должна стать сравнимой с работой, выполняемой во всех остальных областях деятельности» [11, с. 140]. Остается открытым вопрос, как долго может продолжаться процесс восстановления ресурсов после 2100 г. Их запасы в географической оболочке конечны, и, в соответствии с алгоритмом модели «Мир-2», они все же расходуются в процессе производства и восстанавливаются далеко не все.

Глубокая модификация глобальных моделей «Мир-2» и «Мир-3» была осуществлена группой исследователей под руководством В.М. Матросова [15, 16]. Вдобавок к традиционным компонентам модели «Мир-2» в нее были введены новые переменные, такие как научно-технический прогресс, политическая напряженность и биомасса растительности, влияющие на перераспределение капитала в пользу восстановления невозобновляемых ресурсов, борьбу с загрязнениями и коррекцию сельскохозяйственного капитала в трактовке В.Н. Егорова. Оптимизационная процедура в модели не использовалась. Тем не менее, с использованием только функциональных связей между компонентами были получены устойчивые стационарные состояния глобальной модели. Достоинством принятого в модели алгоритма достижения этого состояния является учет причинно-следственной связи между научно-техническим прогрессом, политической напряженностью и экономическими и экологическими переменными, а недостатком – принятие гипотезы о возможности, по крайней мере в ближайшие десятилетия, массового восстановления невозобновляемых ресурсов, за исключением редких металлов.

Еще одна, пожалуй, наиболее интересная модификация модели «Мир-2» была выполнена С.А. Маховым [17]. В ней, как и в работе В.А. Егорова, часть капитала направляется на восстановление ресурсов и борьбу с загрязнениями, но управления сельским хозяйством не даны. Функции управления U_R и U_Z не считаются функциями времени. Для их определения модель «Мир-2» дополняется уравнениями:

$$\frac{dU_R}{dt} = \frac{G_R(R_R) - U_R}{T_{UR}}, \quad (4)$$

$$\frac{dU_z}{dt} = \frac{G_z(Z_s) - U_z}{T_{UZ}}. \quad (5)$$

Здесь G_R , G_z – инвестиции в отрасли промышленности по восстановлению невозобновляемых природных ресурсов и очистке среды обитания от загрязнений; R_R , Z_s – доля оставшихся ресурсов и относительного загрязнения – переменные модели «Мир-2»; T_{UR} , T_{UZ} – времена выбытия основных фондов соответствующих отраслей производства.

Был найден вид функций $G_R(R_R)$ и $G_z(Z_s)$, гарантирующих существование устойчивых стационарных состояний Мировой системы, и определены их параметры. В частности установлено, что $G_R(R_R)$ являются гиперболическими функциями, а $G_z(Z_s)$ – линейными. Интегрирование уравнений модифицированной модели «Мир-2» проводилось на временном интервале с 1900 по 2200 г. Установлено, что выход системы на стационарный режим происходит до 2150 г. Установлено также, что существуют «хорошие» стационарные решения при $G_z = 0$, то есть в отсутствие очистки загрязнений. Показано, что такие стационары возможны только в случае, если отрасли производства, ориентированные на восстановление ресурсов и борьбу с загрязнениями, начнут функционировать не позднее 2030 г. К сожалению, такие светлые перспективы развития Мировой системы получены все в том же предположении, что капитал вновь создаваемых отраслей производства в XXI в. должен быть сравним с капиталом всех традиционных отраслей экономики.

2. ЦИКЛИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ – ЕСТЕСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС ЭВОЛЮЦИИ ЦИВИЛИЗАЦИИ

2.1. Явление цикличности в популяционной экологии

С позиций демэкологии предсказываемая моделью «Мир-2» и «Мир-3» цивилизационная катастрофа не выглядит фатальной. Существуют два типа роста численности популяций: J - и S -образные кривые роста [20]. При J -образной форме кривой численность вначале увеличивается по экспоненциальному закону, но затем, когда начинает действовать сопротивление окружающей среды, рост популяции резко прекращается. Популяция исчерпывает свои ресурсы. Размножение особей заканчивается, их смертность увеличивается. Численность популяции падает, и возникают ее релаксационные осцилляции (рис. 2, A_1 , A_2). У многих высокоорганизованных животных, обладающих сложными и длительными циклами индивидуального развития, численность популяции изменяется по S -образной кривой. Она вначале растет, а затем испытывает затухающие колебания относительно некото-

рого положения равновесия (рис. 2, В-2, В-3). Таким положением является максимальная численность популяции, которую может поддерживать окружающая среда (рис. 2, В-1).

Осцилляции численности животных могут возникать по двум причинам [20]. Первая из них состоит в том, что питательные вещества и другие необходимые для жизни факторы были накоплены еще до того, как начался S -образный рост популяции. Организмам временно хватает ресурсов для того, чтобы «перескочить» через предельную численность, которую может постоянно поддерживать окружающая среда. Вторая причина связана с разрывом по времени между увеличением численности организмов в результате повышенной рождаемости в благоприятных условиях и проявлением тормозящего влияния среды на возникновение перенаселения. Временной лаг при этом приблизительно равен периоду полового созревания особей. Такой лаг позволяет «перескочить» через предельную численность, которую может постоянно поддерживать окружающая среда.

Но причины, вызывающие осцилляции численности популяций животных, по-видимому, свойственны и человечеству. Как составная часть животного мира, человек не может существовать вне биосферы и должен подчиняться действующим в ней законам природы. Ставшая возможной благодаря развитию производительных сил общества добыча ископаемого углеводородного топлива, доступных для разработки руд, агрохимического и химического сырья, образовавшихся на протяжении геологических эпох, сегодня обеспечивают рост материальных благ и, тем самым, численности населения выше предельной численности, которую может постоянно поддерживать окружающая среда.

Подтверждение сказанному находим у классика экологии Ю. Одума (Eugene P. Odum): «У человека, по-видимому, имеются две основные возможности. Первая состоит в том, чтобы допустить неограниченный рост населения, который будет продолжаться до тех пор, пока плотность не превысит известные пределы (пища, ресурсы, пространство, загрязнения и т.п.). После этого большому числу людей придется погибнуть или влачить очень жалкое существование до тех пор, пока не снизится плотность (или не повысится порог, если это окажется возможным). **Если в этот момент не ввести контроль, могут произойти дополнительные взрывы численности** (рис. 3). Другая возможность – признать, что на самом деле эта гибель вызвана перенаселением. Если человек примет на себя ответственность, появится возможность заранее предсказать пределы, принять меры по регулированию численности (контроль рождаемости, ограничение земле- и водопользования, охрана и возобновление ресурсов, снижение экономических «сти-

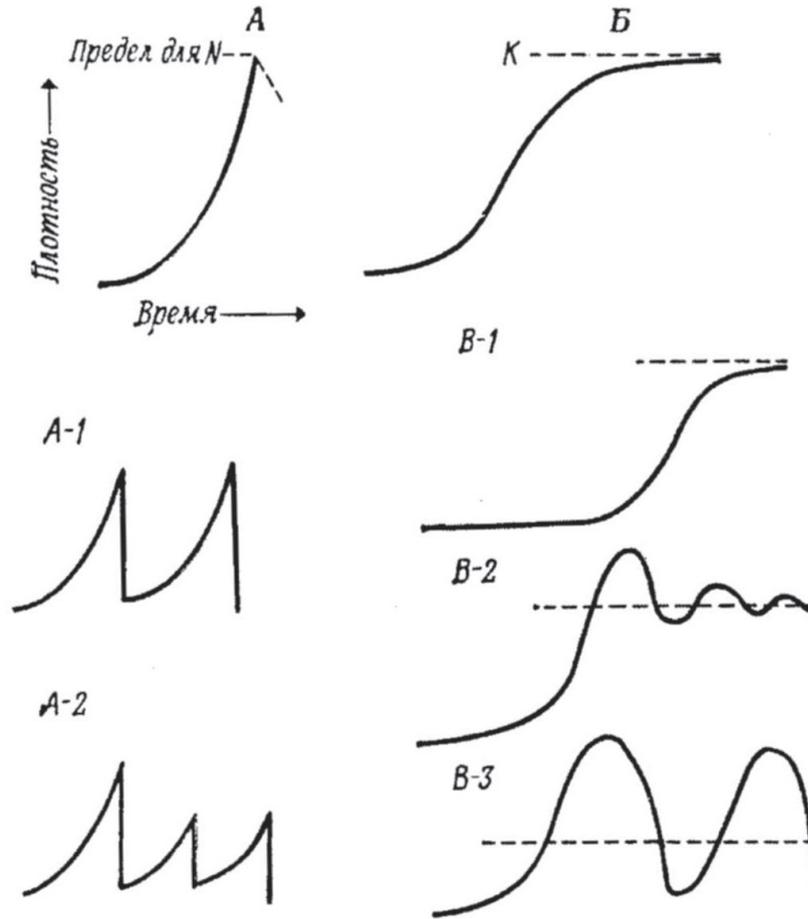


Рис. 2. Некоторые типы кривых роста популяций [20].
 J-образная кривая, экспоненциальный рост (А), S-образная кривая, логический рост (В) и некоторые их разновидности



Рис. 3. Динамика численности популяции австралийской листоблошки *Cardiaspina albiflora*, кормящейся на эвкалиптах *Eucalyptus blakelyi* [20]. В норме плотность популяции при совместном влиянии не зависящих и зависящих от плотности факторов (погода, паразиты, хищники) стабилизируется на низком уровне; однако временами популяция «ускользает» от этой естественной регуляции и «вырывается» на более высокий уровень плотности

мулов роста” и т.д.), с тем чтобы плотность осталась заметно ниже критической» [20, с. 648].

2.2. Оценка критической численности населения Земли

В основе такой оценки лежит биосферная концепция развития цивилизации, предложенная В.Г. Горшковым и К.Я. Кондратьевым [8, 13]. Концепция основана на теории естественной биологической регуляции. Ее авторы считают, что биосфера обладает свойством устойчивости, то есть способностью компенсировать любые возмущения, вызванные хозяйственной деятельностью человека, до тех пор, пока потребление человеком продукции биоты не достигнет 1%. Остальные 99% продукции биота затрачивает на стабилизацию среды обитания. Однопроцентный порог допустимого возмущения биосферы, по оценке авторов концепции, был превышен еще в начале XX в. В последние десятилетия человечество непосредственно использует 6–8% продукции, генерируемой биотой. Кроме того, 30–32% годовой продукции «девственной» биоты человечество потребляет косвенным путем: в промышленном производстве, за счет замены естественных биоценозов агроценозами, урбанизации и опустынивания территорий и т.д. [13].

Критическая численность населения Земли может быть оценена на основании величины первичной продукции биосферы, применения закона «10%» Линдемана-Одума и определения нормы питания населения.

Существует несколько оценок величины первичной продукции биосферы. По Ю. Одуму, валовая продукция биомов суши составляет $57,4 \cdot 10^{16}$ ккал/год, морских биомов – $43,6 \cdot 10^{16}$ ккал/год [20]. Принимая энергетическое содержание наземных растений равным 4,5 ккал на 1 г сухого вещества, получим валовую продукцию биомов суши равной $127 \cdot 10^9$ т сухого вещества в год, а морских биомов – $97 \cdot 10^9$ т. Приблизительные оценки чистой продукции для биомов суши и океана составляют $63 \cdot 10^9$ и $48 \cdot 10^9$ т сухого вещества в год соответственно.

Согласно оценке Виттекера и Лайкенса, чистая первичная продукция биосферы равна $164 \cdot 10^9$ т сухого органического вещества в год (взято из [5]). Виттекер приводит оценку $170 \cdot 10^9$ т сухого органического вещества в год; из них $115 \cdot 10^9$ т продуцируют экосистемы суши и $55 \cdot 10^9$ т – морские и океанические экосистемы (взято из [23]). Ф. Ромад считает эти оценки завышенными и отдает предпочтение последним оценкам Р. Дювинью, согласно которым чистая первичная продукция биосферы равна $83 \cdot 10^9$ т сухой массы в год: $53 \cdot 10^9$ т – для наземных биомов и $30 \cdot 10^9$ т – для океанов [23]. С учетом этого для определения критической численности населения воспользуемся данными Р. Дювинью, достаточно близкими к оценкам Ю. Одума.

Критической численности соответствует достаточно низкий уровень развития мировой социально-экономической системы. Поэтому косвенное потребление первичной продукции биосферы (промышленное и т.д.) в первом приближении можно не учитывать, а ограничиться оценкой потребления продукции только для питания населения. Питание обеспечивается, главным образом, сельскохозяйственными культурами ($25–1000$ ккал/м² в год) и, в меньшей степени, собирательством ($0,2–10$ ккал/м² в год [20]). Поэтому будем рассматривать только продукцию наземных биомов ($53 \cdot 10^9$ т сухого вещества в год).

Применим закон Линдемана-Одума к компонентам трофической цепи «первичные продуценты–растительноядные консументы–люди». Согласно этому закону, на выходе звена трофической цепи остается только 10% энергии, поступившей на его вход. Остальные 90% рассеиваются в окружающую среду в процессах экологического метаболизма. Первичная продукция, равная $53 \cdot 10^9$ т сухого вещества в год, эквивалентна $2,385 \cdot 10^{17}$ ккал/год. Таким образом, с учетом принятых допущений однопроцентный порог допустимого возмущения биосферы составляет $2,385 \cdot 10^{15}$ ккал/год.

Хлебный эквивалент годового прожиточного минимума человека оценивается величиной 230 кг зерна [11]. Это соответствует 770000 ккал/год (2110 ккал/сут). Нормы питания зависят от возраста и вида трудовой деятельности индивида. В среднем требуется (ккал/сут): для детей до 1 года – 700–900; от 1 года до 3 лет – 1000–1300; от 3 до 8 лет – 1500–1900; от 8 до 10 лет – 2000–2400; для подростков – 2500–3500; для лиц, не занятых физическим трудом, – 3000; для рабочих механизированного труда – 3500; для людей, занятых тяжелым физическим трудом, – 4000–5000 [6]. С учетом возрастной и трудовой дифференциации населения в качестве средней нормы питания человека принимаем 3800 ккал/сут или 1387000 ккал/год.

Критическая численность населения, которую может постоянно поддерживать биосфера, определяется как частное от деления однопроцентного уровня ее первичной продукции на среднюю норму питания. Получим, что она составляет 1,73 млрд человек.

2.3. Ресурсно-энергетический потенциал Земли

Ресурсно-энергетическим потенциалом, по аналогии с земельно-ресурсным, будем называть одну из составляющих природно-ресурсного потенциала. Это доступная при существующих технологиях и социально-экономических отношениях совокупность энергетических ресурсов планеты. Потенциал включает в себя возобновляемые и невозобновляемые энергоресурсы и возрастает в процессе развития цивилизации.

В палеолите энергоснабжение человечества происходило за счет возобновляемых ресурсов девственной биосферы в ходе охоты, собирательства и сжигания растительной биомассы. Численность населения планеты в среднем палеолите оценивается в 200–300 тыс. человек. Для этого этапа развития общества характерно использование огня для обогрева и приготовления пищи (около 40% общего энергопотребления). Но эта энергия не могла полностью компенсировать затраты на поддержание гомеостатических температурных констант организмов [18].

В неолите и бронзовом веке энергетические возможности цивилизации существенно возросли. В это время формировалась традиционная сельская цивилизация, в которой основным видом деятельности стало земледелие и скотоводство. Около 10 тыс. лет назад численность населения Земли достигла 5 млн человек.

В рабовладельческом и феодальном обществах стала использоваться кинетическая энергия ветра и воды. Ко времени образования Римской империи численность жителей планеты достигла 150 млн человек, а к 1650 г. – 500 млн [23].

В индустриальную эпоху, с изобретением паровой машины, двигателя внутреннего сгорания, турбин, электрогенераторов и электромоторов, энергоснабжение цивилизации происходит, главным образом, за счет ископаемого углеводородного топлива. Скорость добычи топливных ресурсов возрастает. Вместе с энерговооруженностью цивилизации по экспоненте возрастает и численность населения Земли, которая на 1 января 2016 г. достигла 7,3 млрд человек.

В постиндустриальную эпоху предполагается наряду с развитием атомной энергетики осуществить

управляемую термоядерную реакцию и, таким образом, навсегда решить проблему энергоснабжения цивилизации. Возникает вопрос: по какому закону в этом случае будет изменяться численность населения?

Развитие производительных сил общества лимитируется природными ресурсами в соответствии с законом падения природно-ресурсного потенциала. Согласно этому закону, в пределах одной общественно-экономической формации и одной технологии природные ресурсы становятся все менее доступными и требуют увеличения энергетических затрат на их добычу [23]. Развитие производительных сил происходит относительно плавно до момента резкого истощения природно-ресурсного потенциала. Далее наступает экологический кризис, который разрешается путем революционного изменения производительных сил (научно-технической и промышленной революции). Вербальная модель ограниченности экономического роста обычно иллюстрируется S-образной (логистической) кривой, показывающей, как экспоненциальный рост постепенно сменяется асимптотическим стремлением к некоторому предельному состоянию экономики, свойственной данной социально-экономической формации.

Э.А. Араб-Оглы предложил использовать последовательность логистических моделей энерговооруженности человечества для построения вербальной модели ее экспоненциального роста [2, с. 211]. У этой модели есть три недостатка.

Первый из них состоит в том, что в один ряд поставлены логистические модели падения ресурсно-энергетического потенциала возобновляемых и невозобновляемых ресурсов (рис. 4).

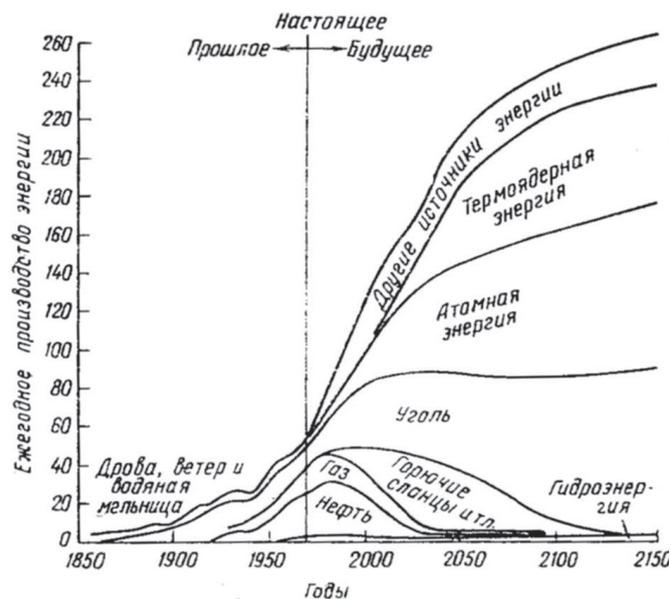


Рис. 4. Экспоненциальный рост производства энергии как сумма логистических кривых, относящихся к различным источникам ее потребления [2]. Шкала слева обозначает лишь порядок величин, а не физические единицы

Полемизируя с авторами глобальных моделей «Мир-2» и «Мир-3», Э.А. Араб-Оглы пишет: «Не требуется особого математического воображения, чтобы убедиться в том, что экспоненциальный рост агрегатных показателей может продолжаться несравненно дольше, чем рост отдельных составляющих ее величин, экспонента при этом складывается из ряда логистических кривых. Подтверждением может служить, например, экспоненциальный рост производства энергии, выходящий далеко за пределы обозримого будущего и складывающийся из последовательного вовлечения в него механической энергии человека и животных, энергии ветра, гидроэнергии, тепловой энергии, получаемой при сжигании дров, угля, нефти и газа, атомной и термоядерной энергии. И этот довод еще более правомерен в отношении таких экономических показателей, как валовый национальный продукт, национальный доход на душу населения, производительность труда и т.п.» [2, с. 210–211].

Но ведь химическая энергия живого вещества образуется из световой энергии в процессе фотосинтеза, движется по трофической сети до человека, усваивается им и выводится в окружающую среду в процессах экологического метаболизма. Именно энергия пищи обеспечивает жизнедеятельность человечества на всех этапах его развития. И она ограничена продукционной способностью биосферы. Эта важная особенность жизни учитывается в моделях «Мир-2» и «Мир-3». В качестве энергетических компонент в них по отдельности рассматриваются энергия пищи и невозобновляемые ресурсы – потенциальная энергия индустрии.

Второй недостаток состоит в недооценке запасов сланцевой нефти и переоценке запасов угля. Логистическую кривую «уголь» следует именовать «сланцы», а кривую «сланцы» именовать «уголь».

Третий недостаток модели экспоненциального роста энерговооруженности состоит в том, что после овладения человечеством управляемой термоядерной реакцией она косвенно отменяет закон падения природно-ресурсного потенциала. Справедливости ради заметим, что на рис. 4 автор застенчиво «заворачивает» энергетическую экспоненту в сторону логистической кривой. Нельзя же заечь на Земле второе Солнце.

Еще одно замечание касается реализованной в модификациях моделей «Мир-2» и «Мир-3» идеи восстановления невозобновляемых природных ресурсов. Авторы этой идеи «забыли», что ресурсы включают не только вещественную, но и энергетическую составляющую. При этом для получения вторсырья тоже затрачивается энергия. Невозобновляемые топливные ресурсы включают: углеводородное топливо, содержащее химическую энергию, образовавшуюся в процессах фотосинтеза и ассимиляции пищи консументами в прошедшие геологические эпохи; ядерное топли-

во, представляющее собой «пепел» давно сгоревших звезд, когда «легкие» атомы, соударяясь друг с другом, образовали атомы урана; водородное топливо, старейшее из видов горючего, представляющее собой «пепел» Большого взрыва (теория Г.А. Гамова).

В соответствии с одной из формулировок второго начала термодинамики процессы, связанные с превращением энергии, могут происходить самопроизвольно только при условии, что энергия переходит из концентрированной формы в рассеянную. Ископаемое топливо обладает низкой энтропией, а содержащаяся в нем энергия – высоким «качеством», поскольку она пригодна для совершения работы. Горение топлива представляет собой самопроизвольный процесс, в ходе которого происходит рассеяние энергии (увеличение энтропии) и понижение ее «качества». В соответствии с законом фундаментальной асимметрии природы, переход из низкокачественной энергии в высококачественную невозможен. Поэтому невозможно восстановление ископаемых топливных ресурсов. Задача цивилизации – научиться экономно распоряжаться «высококачественной» энергией или, что то же самое, снижать уровень производства энтропии.

2.4. Начальные запасы ресурсов в моделях «Мир-2» и «Мир-2 MathCad»

Для подтверждения гипотезы Ю. Одум о возможности циклического развития цивилизации воспользуемся алгоритмом модели «Мир-2». Публикация этого алгоритма в монографии [32] и его программная реализация на языке автоматического программирования DYNAMO упростила повторную реализацию модели на языке MathCad [29]. Будем в дальнейшем называть эту реализацию «Мир-2МС». Ее идентификация осуществлялась путем сравнения результатов решения задачи с базовым вариантом модели «Мир-2» (рис. 1). Сопоставление решений на временном интервале 1900–2100 гг. показало их идентичность.

В модели «Мир-2» невозобновляемые природные ресурсы не подразделяются на топливно-энергетические и неэнергетические минеральные ресурсы, а при задании их первоначальных запасов R_0 (начальных условий для переменной R) используется относительный принцип. Единицей ресурсов (ресурсной единицей, РЕ) считается их годовое потребление в «базовом» 1970 г. При этом предполагается, что ресурсов при той скорости их потребления, какая была в 1970 г., должно хватить на 250 лет. Остается неясным, каким способом осуществлялась интегральная оценка запасов многочисленных неэнергетических ресурсов: распространенных и редких металлов, агрохимического и химического сырья, строительных материалов.

Неопределенность интегральной оценки запасов неэнергетических ресурсов и первостепенная важность горючих ископаемых как источников энергообеспечения послужили аргументами для пересмотра принятого в модели «Мир-2» начального условия « $R_0 = 9 \cdot 10^{11}$ РЕ».

В базовых сценариях, реализованных на модели «Мир-2МС», при задании R_0 учитывались мировые запасы нефти, газа и угля, объединяемые понятием «традиционные топливно-энергетические ресурсы». Их запасы достаточно изучены, периодически пересматриваются и выражаются в энергетических единицах (в системе СИ – в джоулях). Кроме того, предусматривается возможность гипотетического увеличения топливных ресурсов за счет перспективных источников: горючих сланцев, битумных песков, атомной и термоядерной энергетики. Для сохранения связи с моделью «Мир-2» будем по-прежнему полагать 1970 г. базовым, а ресурсной единицей (РЕ) считать их годовое потребление в «базовом» году. Численные значения РЕ получены с графиков на рис. 5, 6. Графики использовались также для идентификации модели «Мир-2МС».

При формулировке сценариев развития цивилизации принципиальное значение имеет алгоритм вычисления периода истощения топливных ресурсов. Он состоит в следующем. Последовательно рассматрива-

ются следующие виды ресурсов: нефть; нефть + газ = подвижные углеводороды; подвижные углеводороды + уголь = традиционные топливные ресурсы; традиционные топливные ресурсы + сланцевые нефть = углеводородное топливо; традиционные топливные ресурсы + атомная и термоядерная энергетика = топливные ресурсы будущего.

Введем обозначения: $R_m, R_n; V_m, V_n; \tau_m, \tau_n$ – запасы, скорости потребления, периоды истощения m -го и n -го видов ресурсов соответственно; $R_{\Delta n}$ – количество n -го ресурса, потребленное за время истощения m -го ресурса; $R_{\Delta n}$ – остаток n -го ресурса после истощения m -го; V_{Σ} – скорость потребления n -го ресурса после истощения m -го; τ_s – период истощения n -го ресурса после исчезновения m -го. Тогда:

$$\tau_m = R_m / V_m$$

$$R_{\Delta n} = V_n \times \tau_m$$

$$R_{\Delta n} = R_n - R_{\Delta n} \tag{6}$$

$$V_{\Sigma} = V_m + V_n$$

$$\tau_s = R_{\Delta n} / V_{\Sigma}$$

$$\tau_n = \tau_m + \tau_s$$

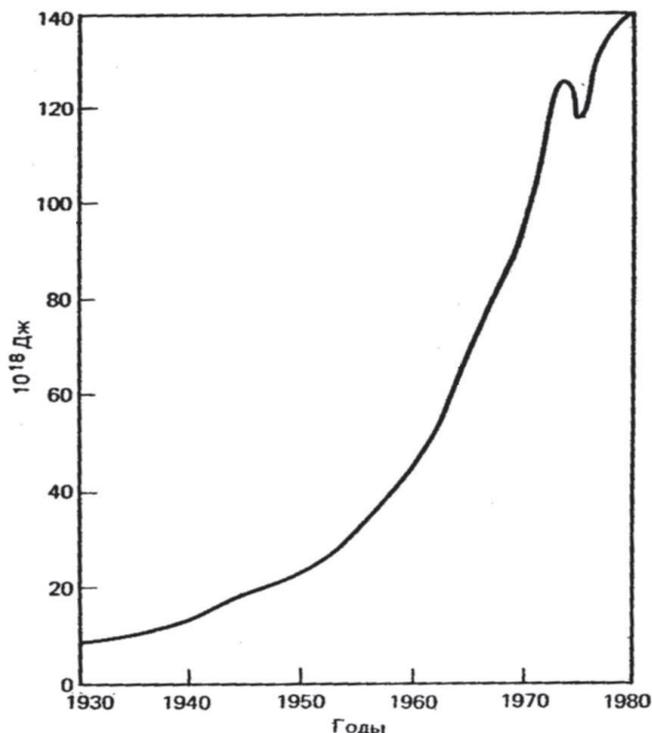


Рис. 5. Мировая добыча нефти (по данным ООН и Горного бюро США) [31]. Расчетная величина коэффициента теплотворной способности – $9 \cdot 10^9$ Дж/барр

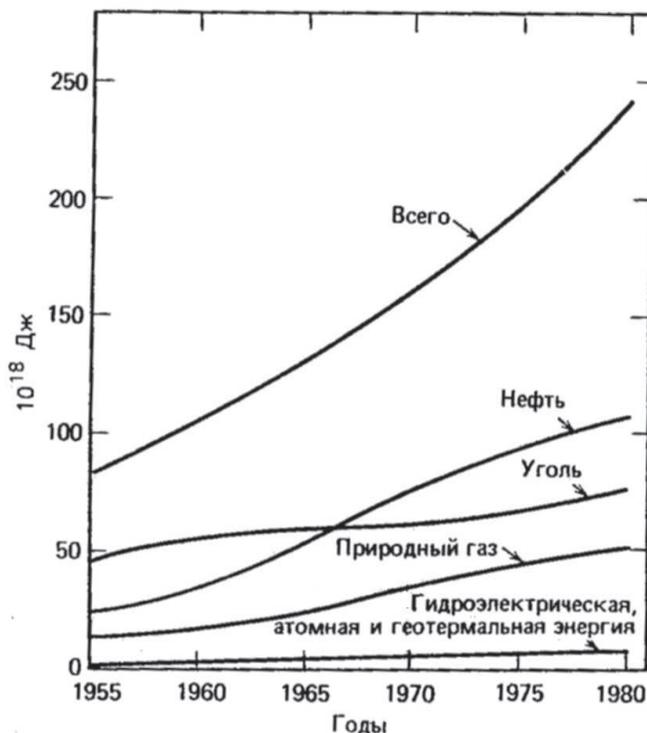


Рис. 6. Мировое потребление различных источников энергии (по данным ООН) [31]

Введем обозначения: $R_0 = 9 \cdot 10^{11}$, R_0^* (РЕ – начальные условия для невозобновляемых ресурсов в моделях «Мир-2» и «Мир-2МС» соответственно); $\tau_m = 250$, τ_n^* (годы – периоды исчерпания ресурсов в тех же моделях). Для определения R_0^* решаем пропорцию:

$$R_0 / R_0^* = \tau_m / \tau_n^* \quad (7)$$

Одну из наиболее авторитетных и близких по времени к базовому 1970 г. оценку извлекаемых запасов нефти и газа дала Всемирная энергетическая конференция 1980 г. [31]. Если принять теплотворность нефти равной 44 МДж/кг, газа – 40,8 МДж/м³, угля – 29,4 МДж/кг, то запасы нефти оцениваются в $R_{1980}^{(нефть)} = 1,5 \cdot 10^{22}$ Дж, газа – в $R_{1980}^{(газ)} = 1,1 \cdot 10^{22}$ Дж, угля – в $R_{1980}^{(уголь)} = 21 \cdot 10^{22}$ Дж.

Для получения оценок, близких к 1900 г., проинтегрируем график добычи нефти (рис. 5) на временном интервале 1930–1980 гг., а графики добычи газа и угля (рис. 6) – на интервале 1955–1980 гг. Получим: $\Delta R^{(нефть)} = 0,25 \cdot 10^{22}$ Дж, $\Delta R^{(газ)} = 0,07 \cdot 10^{22}$ Дж, $\Delta R^{(уголь)} = 0,23 \cdot 10^{22}$ Дж. Тогда мировые запасы подвижных углеводородов в 1900 г. оцениваются: $R_{1900}^{(нефть)} \approx 1,75 \cdot 10^{22}$ Дж, $R_{1900}^{(газ)} \approx 1,2 \cdot 10^{22}$ Дж.

При скоростях потребления в 1970 г. для нефти – $0,95 \cdot 10^{20}$ Дж/год и для газа – $0,35 \cdot 10^{20}$ Дж/год их запасов хватило бы на 184 и 343 года соответственно. Если предположить, что газ будет потребляться с прежней скоростью и заменит нефть после того, как ее запасы будут исчерпаны, то, в соответствии с формулами (6) и (7), подвижные углеводороды иссякнут через 227 лет и $R_0^* = 11,1 \cdot 10^{11}$ РЕ. Заметим, что эта оценка близка к принятой в модели «Мир-2» ($9 \cdot 10^{11}$ РЕ).

По данным всемирной энергетической конференции, извлекаемые запасы всех видов угля оцениваются в 13800 млрд т. Однако эта оценка, по-видимому, завышена. «Р. Аверитт пришел к выводу, что добыча может достигать 7135 млрд т, что эквивалентно $21 \cdot 10^{22}$ Дж» (цитируется по [31, с. 59]). При этом извлекаемыми считаются запасы угля в пластах мощностью более 30 см,

залегающих на глубинах не более 2 км, с учетом того, что весь уголь из пласта извлечь невозможно, и извлечение на уровне 50% считается хорошим [31]. При скорости потребления угля в 1970 г., равной $0,6 \cdot 10^{20}$ Дж, запасов угля хватило бы на 3500 лет. Если предположить, что уголь заменит нефть и газ после того, как их запасы будут исчерпаны, а суммарная скорость потребления традиционного топлива останется прежней, то, в соответствии с формулами (6), (7), все топливо иссякнет через 1034 г., и $R_0^* = 37,2 \cdot 10^{11}$ РЕ. Таким образом, начальное условие в модели «Мир-2» было занижено в 4,16 раза.

Запасы нефти, газа и угля по состоянию на 2014 г., опубликованные в статистическом обзоре мировой энергетики 2015 (Statistical Review of World Energy 2015), оцениваются в 239,8 млрд т, 187,1 трлн м³, 891,5 млрд т соответственно. В энергетических единицах эти запасы составляют $L_{2014}^{(нефть)} = 1,06 \cdot 10^{22}$ Дж, $L_{2014}^{(газ)} = 0,76 \cdot 10^{22}$ Дж, $L_{2014}^{(уголь)} = 26,2 \cdot 10^{22}$ Дж.

Запасы ресурсов на 2014 г., вычисленные при скоростях их потребления, существовавших в 1970 г., составляют: $R_{2014}^{(нефть)} = 0,65 \cdot 10^{22}$ Дж, $R_{2014}^{(газ)} = 0,6 \cdot 10^{22}$ Дж, $R_{2014}^{(уголь)} = 25,41 \cdot 10^{22}$ Дж (при начальных запасах $R_{1900}^{(нефть)} = 1,75 \cdot 10^{22}$ Дж, $R_{1900}^{(газ)} = 1,2 \cdot 10^{22}$ Дж, $R_{1900}^{(уголь)} = 26 \cdot 10^{22}$ Дж).

Таким образом, невязка оценки $\Delta = L - R$ составляет: $\Delta^{(нефть)} = 0,41 \cdot 10^{22}$ Дж, $\Delta^{(газ)} = 0,16 \cdot 10^{22}$ Дж. Положительные невязки могут быть отнесены за счет открытых после 1980 г. новых месторождений подвижных углеводородов, например, Штокмановского. В любом случае, эти невязки лишь увеличивают значение R_0^* . Невязка для угля не вычислялась из-за десятикратного различия в оценках его запасов. Эти различия связаны, по-видимому, во-первых, с различными представлениями о рентабельности добычи угля, а во-вторых – с неопределенностью понятия «уголь» с точки зрения его теплотворной способности (бурый уголь – 15, каменный уголь – 22, антрацит – 29 МДж/кг).

Заметим, что подвижные углеводороды и уголь далеко не исчерпывают запасы горючих ископаемых (табл. 1).

Табл. 1

Потенциальные ресурсы горючих ископаемых [31]

| Горючие ископаемые | Количество в недрах (10^{22} Дж) | Количество, которое может быть извлечено (10^{22} Дж) |
|--|-------------------------------------|--|
| Уголь | 42 | 21 |
| Нефть и газ | 2,1 | 2,6 |
| Запечатанная нефть (неподвижная) | 2,5 | 0–? |
| Тяжелая нефть (битумные пески) | 5,0 | 0,5–2,5 |
| Нетрадиционный природный газ | 10+ | 0,07–? |
| Горючие сланцы (более 40 л на 1 т) | 200 | 1,0–? |
| Горючие сланцы (менее 40 л на 1 т) | 10000 | ? |
| Мировое потребление нефти и газа в 1983 г. | 0,018 | |
| Мировое потребление энергии в 1983 г. | 0,03 | |

Но основная часть этих запасов относится к потенциальным ресурсам, добыча которых нерентабельна при современных технологиях. В последние годы в США начата добыча сланцевой нефти (shale oil), получаемой из горючих сланцев. В 2011 г. ее добыча составила 1 млн баррелей в сутки (1 баррель нефти = 136,4 кг), а в 2013 г. – уже 3 млн баррелей. В 2014 г. на долю сланцевой нефти приходилось 4,3% мировой добычи нефти всех сортов (https://ru.wikipedia/wiki/сланцевая_нефть).

2.5. Модельные сценарии развития цивилизации при расширении ресурсно-энергетического потенциала за счет традиционных топливных ресурсов

При реализации сценариев в модели «Мир-2МС» приняты такие же начальные условия для компонент, как и в модели «Мир-2», за исключением условия для невозобновляемых ресурсов: $P_0 = 1,65 \cdot 10^9$ человек, $K_0 = 0,4 \cdot 10^9$ единиц капитала (принимается, что в 1900 г. на человека приходилось вчетверо меньше капитала, чем в 1970 г.); $X_0 = 0,2$; R_0^* – переменная величина, зависящая от сценария; $Z_0 = 0,2 \cdot 10^9$ единиц загрязнения (считается, что в 1900 г. на душу населения приходилось в 8 раз меньше загрязнений, чем в 1970 г.). В дальнейшем изложении надстрочный знак * при R_0 будем упускать.

Рассмотрим вначале четыре модельных сценария с фиксированными значениями ресурсно-энергетического потенциала Земли, соответствующими традиционным энергоносителям (нефть, газ, уголь). Первый сценарий будем связывать с современными оценками запасов подвижных углеводородов, которые при скорости их потребления, как в 1970 г., должны иссякнуть через 250 лет, то есть в 2150 г. Их запасы примем за 100%, а начальное условие будет $R_0 = 900 \cdot 10^9$ РЕ.

Второй сценарий соответствует перспективной ситуации, когда произойдет расширение ресурсно-энергетического потенциала за счет освоения ресурсов нефти и газа на шельфе и материковом склоне Мирового океана. Примем, что при этом запасы подвижных углеводородов увеличились до 150% и их хватит на 375 лет, то есть до 2275 г., а начальное условие – $R_0 = 1350 \cdot 10^9$ единиц ресурсов.

Третий сценарий соответствует ситуации, когда уголь заменит исчерпанные запасы подвижных углеводородов, но его добыча будет все же ограничена рентабельностью применяемых технологий. Примем, что при этом запасы топливных ресурсов увеличились до 300% и их хватит на 700 лет, то есть до 2600 г., а начальное условие – $R_0 = 2700 \cdot 10^9$ РЕ.

В четвертом сценарии требования к порогу рентабельности добычи угля понижены так, чтобы его за-

пасов хватило на 1000 лет, то есть до 2900 г., а начальное условие – $R_0 = 3600 \cdot 10^9$ РЕ.

Принятые сценарии нуждаются в пояснениях.

1. В модели «Мир-2» «Природные ресурсы – системный уровень. Он связан с одним потоком, уменьшающим его темпом потребления. В соответствии с принятым здесь определением, природные ресурсы включают в себя только невозобновляемые ресурсы и не включают, например, лес и другие ресурсы, которые могут возобновляться; последние классифицируются как часть сельскохозяйственного сектора» [32, с. 55].

Между тем, топливные ресурсы цивилизации представляют собой сумму R возобновляемых и невозобновляемых ресурсов. С учетом этого уравнение для ресурсов следовало бы записать в виде

$$\frac{dR}{dt} = V^+ - V^-,$$

где: V^+ – первичная продуктивность материковых экосистем (скорость, с которой видимое излучение Солнца усваивается фитоценозами экосистем суши);

V^- – скорость потребления невозобновляемых топливных ресурсов цивилизацией.

Продуктивность материковых экосистем по сухому веществу оценивается в $53 \cdot 10^9$ т/год, что эквивалентно 10^{19} Дж/год. Скорость потребления традиционных невозобновляемых топливных ресурсов в «эталонном» 1970 г. составляла $1,9 \cdot 10^{20}$ Дж/год. Это на порядок больше, чем продуктивность экосистем суши. Разномасштабность скоростей V^+ и V^- позволяет записать ресурсное уравнение в виде

$$\frac{dR}{dt} \approx -V^-.$$

Тем самым продуктивность материковых экосистем в модели «Мир-2МС» рассматривается по умолчанию (неявно). Такой подход полезен при объяснении стационарного *движения* населения, когда ресурсы и численность населения выходят на постоянный уровень, и цивилизация живет за счет потребления возобновляемых ресурсов (при численности населения $P \leq 1,5$ млрд человек).

2. Продукты питания население получает с изъятых у «девственной» биосферы земель – сельхозугодий. Их продуктивность оценивается в $9,1 \cdot 10^9$ т/год [24]. Это в 5,8 раза меньше продуктивности экосистем суши. Поэтому принятое в концепции модели «Мир-2» равенство между сельскохозяйственной продукцией и возобновляемыми ресурсами материковых экосистем не соответствует действительности. Сельскохозяйственная продукция в модели «Мир-2МС» представляет собой лишь видимую долю возобновляемых ресурсов, учитываемых по умолчанию.

Результаты моделирования (рис. 7, 8; табл. 2) свидетельствуют о том, что при расширении ресурсно-энергетического потенциала в глобальной социально-экологической системе возникают осцилляции всех компонент. Осцилляций образуется тем больше, чем больше запасы доступных для эксплуатации природных ресурсов. При увеличении запасов до 150% по сравнению с «нормой» ($9 \cdot 10^{11}$ единиц ресурсов), принятой в модели «Мир-2»,

возникают две осцилляции численности населения; при увеличении запасов до 300% – три осцилляции; при увеличении до 400% – четыре осцилляции. Амплитуда осцилляции составляет 2–5 млрд человек. При этом время наступления максимума первой осцилляции численности существенно не изменится (2018–2033 гг.), а второй и третьей осцилляции – изменится в пределах 33 и 45 лет соответственно.

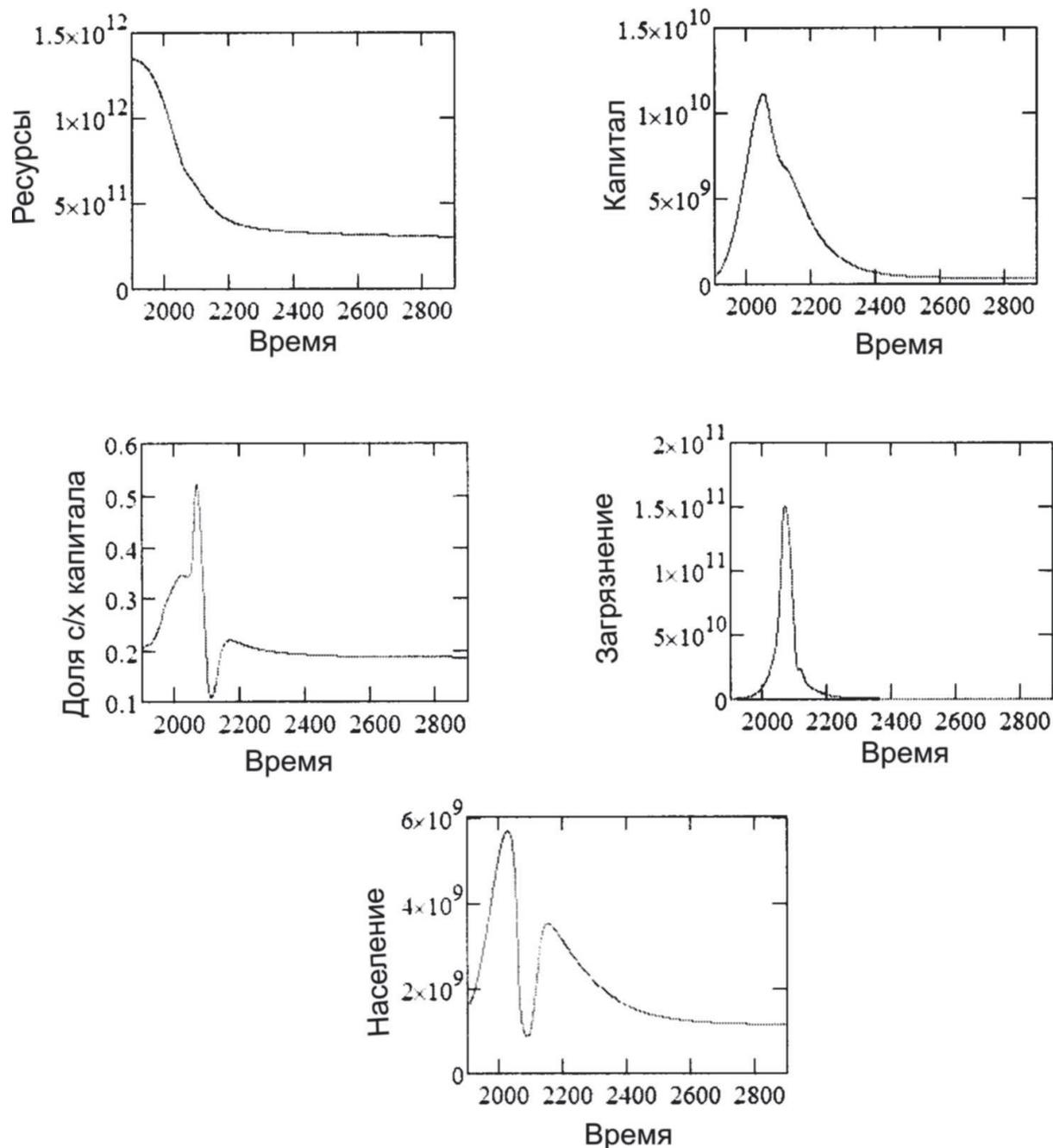


Рис. 7. Временная изменчивость компонент глобальной системы в модели «Мир-2 MathCad». Первоначальные запасы топливных ресурсов $R = 1350 \cdot 10^9$ единиц ресурсов; сценарий (150%). Условные единицы по осям ординат объяснены в тексте

Заметим, что число осцилляций загрязнения окружающей среды и доли сельскохозяйственного капитала всегда на единицу меньше числа осцилляций численности населения.

Невозобновляемые природные ресурсы не являются ограничителями роста численности населения. Его ограничивает дефицит сельскохозяйственной продукции и загрязнение окружающей среды. Эти факторы

постоянно действуют на всех временных интервалах падения численности населения. При этом экстремумы уровня загрязнения и доли сельскохозяйственного капитала запаздывают по отношению к экстремумам численности населения на одно-два десятилетия.

Основные фонды экономики во всех сценариях плавно снижаются, коррелируя со снижением запасов невозобновляемых ресурсов. Небольшие коле-

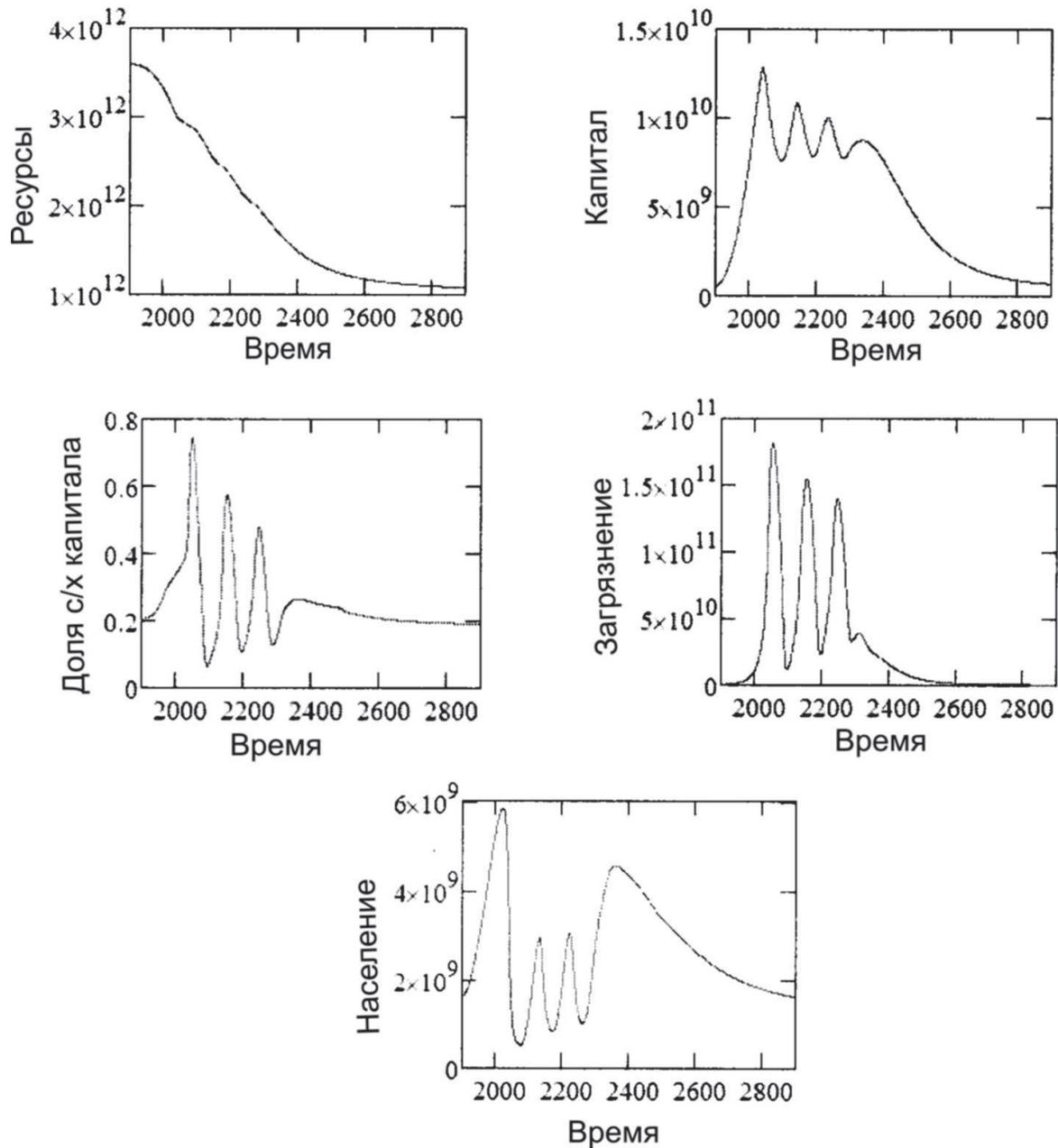


Рис. 8. Временная изменчивость компонент глобальной системы в модели «Мир-2 MathCad». Первоначальные запасы топливных ресурсов $R = 3600 \cdot 10^9$ единиц ресурсов; сценарий (400%). Условные единицы по осям ординат объяснены в тексте

Табл. 2

**Величины и годы экстремумов численности населения
в сценариях модели глобального развития «Мир-2МС» [29]**

| % R к «норме» | Годы | Численность населения $P \cdot 10^9$ | |
|---------------|------|--------------------------------------|------|
| | | Min | Max |
| 100 | 1900 | 1,65 | 5,29 |
| | 2022 | | |
| | 2450 | 1,25 | |
| 150 | 1900 | 1,65 | 5,62 |
| | 2033 | | |
| | 2084 | 0,87 | |
| | 2163 | | |
| | 2600 | 1,26 | |
| 300 | 1900 | 1,65 | 5,81 |
| | 2021 | | |
| | 2075 | 0,54 | |
| | 2132 | | |
| | 2179 | 0,97 | |
| | 2271 | | |
| | 2880 | 1,3 | |
| 400 | 1900 | 1,65 | 5,83 |
| | 2018 | | |
| | 2075 | 0,51 | |
| | 2130 | | |
| | 2170 | 0,83 | |
| | 2226 | | |
| | 2265 | 1,01 | |
| | 2363 | | |
| 2900 | 1,5 | | |

Табл. 3

**Годы и уровни стабилизации компонентов мировой социально-экологической системы
в различных сценариях модели «Мир-2МС» [29]**

| Сценарий | Год | Численность населения | Невозобновляемые природные ресурсы | Капитал | Доля с/х капитала | Уровень загрязнения среды |
|----------|-------|-----------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 150% | 2600 | 1,26 | $3,10 \cdot 10^{11}$ | $3,23 \cdot 10^8$ | 0,18 | $2,77 \cdot 10^8$ |
| 300% | 2880 | 1,30 | $7,58 \cdot 10^{11}$ | $4,82 \cdot 10^8$ | 0,18 | $3,33 \cdot 10^8$ |
| 400% | 2900* | 1,50 | $10,8 \cdot 10^{11}$ | $6,96 \cdot 10^8$ | 0,19 | $4,82 \cdot 10^8$ |

* На тысячелетнем временном интервале система не установилась полностью.

бания капитала запаздывают по фазе по отношению к колебаниям численности населения. Так отражается недостаток трудовых ресурсов на нисходящих ветвях циклов развития цивилизации.

В каждом из сценариев вслед за заключительной осцилляцией численности населения наступает этап стабилизации численности. В сценарии с ресурсно-энергетическим потенциалом, расширенным до 150%, это

происходит через 437 лет; в сценарии с расширением потенциала до 300% – через 609 лет; в сценарии с расширением до 400% – через 1000 лет. Стабилизация численности населения наступает на уровне приблизительно 1,3–1,5 млрд человек. Эта оценка, по-видимому, и является максимальной численностью, которую может постоянно поддерживать природная и генерируемая человечеством социально-экономическая среда.

Одновременно с численностью населения на стационарный режим выходят и другие компоненты системы (табл. 3).

В статье [41] мы нашли независимое подтверждение опубликованных нами ранее результатов модельных исследований [28–30], показавших возможность циклического развития и последующего выхода Мировой социально-экологической системы на стационарный режим. В этой интересной и значимой работе показано, что на основе классической модели Вольтерра-Лотка «хищник-жертва» с внутривидовой конкуренцией среди жертв можно получить нетривиальный вывод о циклическом характере развития цивилизации и последующем ее выходе на стационарный режим. Плодотворной оказалась идея отождествить среду обитания с «жертвами», а население – с «хищниками» и использовать модель Вольтерра для биологического сообщества n видов: продуцентов, консументов и субстратов (ресурсов). (Такая модель рассмотрена в монографии Ю.М. Свирижева, Д.О. Логофета [25, с. 130–169]). При этом авторы статьи отождествляют виды сообщества организмов с имущественной структурой человеческого общества («богачами» и «обывателями»). Рождаемость и смертность групп населения зависят от распределения продукции, которую создает «простой люд», а распределяет «элита». Авторы статьи показывают, что чрезмерная эксплуатация ресурсов и избыточное расслоение населения по доходам, независимо одно от другого, приводят к серии катастроф цивилизации, и открытым текстом говорят о необходимости выравнивать доходы населения и сокращать темпы расходования ресурсов.

2.6. Модельные сценарии развития цивилизации при расширении ресурсно-энергетического потенциала за счет перспективных топливных ресурсов

Сланцевая нефть

По современным представлениям, разработка сланцевого месторождения считается рентабельной, если содержание нефти в нем не менее 90 л/т сланца³. Мировые запасы сланца с рентабельной добычей нефти составляют 650 трлн т. Из них можно извлечь 26 трлн т нефти. Это в 13 раз больше мировых запасов подвижной нефти. При дефиците энергоресурсов порог рентабельности добычи сланцевой нефти может быть понижен до 40 л/т [31]. По данным Всемирной энергетической конференции (1980), запасы горючих сланцев с содержанием нефти выше 40 л/т оцениваются в $200 \cdot 10^{22}$ Дж. Это в 8,5 раза больше энергии, содержащейся в мировых запасах нефти, газа и угля.

Богатейшие месторождения горючих сланцев, расположенные в Эстонии, дают 320 л нефтепродуктов на 1 т сырья. Их разработка началась в 1915 г. За год было добыто 315000 т сланцевого масла. Многие годы производство нефти и газа из сланцев успешно велось в СССР и КНР⁴. В послевоенные годы Ленинград снабжался газом, добываемым из эстонских сланцев. Примем, что сланцевая нефть добывалась с 1900 г.

Будем полагать, что запасы ископаемого углеводородного топлива (традиционной нефти, газа, угля и сланцевой нефти) составляют $223,9 \cdot 10^{22}$ Дж (табл. 1). Теплотворность сланцевой нефти примем равной $44 \cdot 10^6$ Дж/кг, а ее добычу, вплоть до исчерпания традиционного топлива, примем такой же, как в 2013 г., – $1,1 \cdot 10^9$ барреля/год. В энергетических единицах это составляет $6,6 \cdot 10^{18}$ Дж/год. Если предположить, что сланцевая нефть заменит традиционные топливные ресурсы после того, как их запасы будут исчерпаны, и будет добываться со скоростью $1,97 \cdot 10^{20}$ Дж/год, то в соответствии с алгоритмом (6, 7) период исчерпания углеводородного топлива составит 10117 лет. Из пропорции (7) находим $R_0 = 36,4 \cdot 10^{12}$ РЕ. Полагая, что рентабельная добыча нефти из горючих сланцев с ее содержанием более 40 л/т сланцев составляет 28% мировых запасов, получим оценку $R_0 = 8 \cdot 10^{12}$ РЕ. Это в 8,9 раза больше запасов ресурсов, принятых в модели «Мир-2». Время исчерпания ресурсов в этом сценарии составляет 2220 лет, то есть их запасов хватит до 4120 г.

Рис. 9 иллюстрирует результаты реализации сценария эволюции Мировой системы при начальных запасах углеводородного топлива $8 \cdot 10^{12}$ РЕ (сценарий для 800%). Видно, что число осцилляций численности населения увеличилось до 15, а остальных компонент – до 14. Запасы углеводородного топлива убывают во времени по закону, близкому к кусочно-линейному с выходом на стационарный режим. Капитал экономики, достигнув максимума во второй осцилляции, испытывает затухающие колебания относительно своего тренда, имеющего высокую положительную корреляцию с убывающими запасами топливных ресурсов.

Загрязнение окружающей среды, достигнув в первых же осцилляциях максимальных значений, вызванных интенсивным ростом капитала экономики, снижает максимальную численность населения во второй и последующих осцилляциях до 2 млрд человек. Во избежание голодомора Мировая система вынуждена повысить долю сельскохозяйственного капитала до 0,9–0,8 от общего капитала экономики. Дальнейшая временная изменчивость доли сельскохозяйственного капитала и загрязнения окружающей среды соответствует поведению «осцилляторов с сухим трением». В теории колебания такие диссипатив-

³ vseonefti.ru/neft/slancevaya-neft.html

⁴ https://ru.wikipedia.org/wiki/Сланцевая_нефть

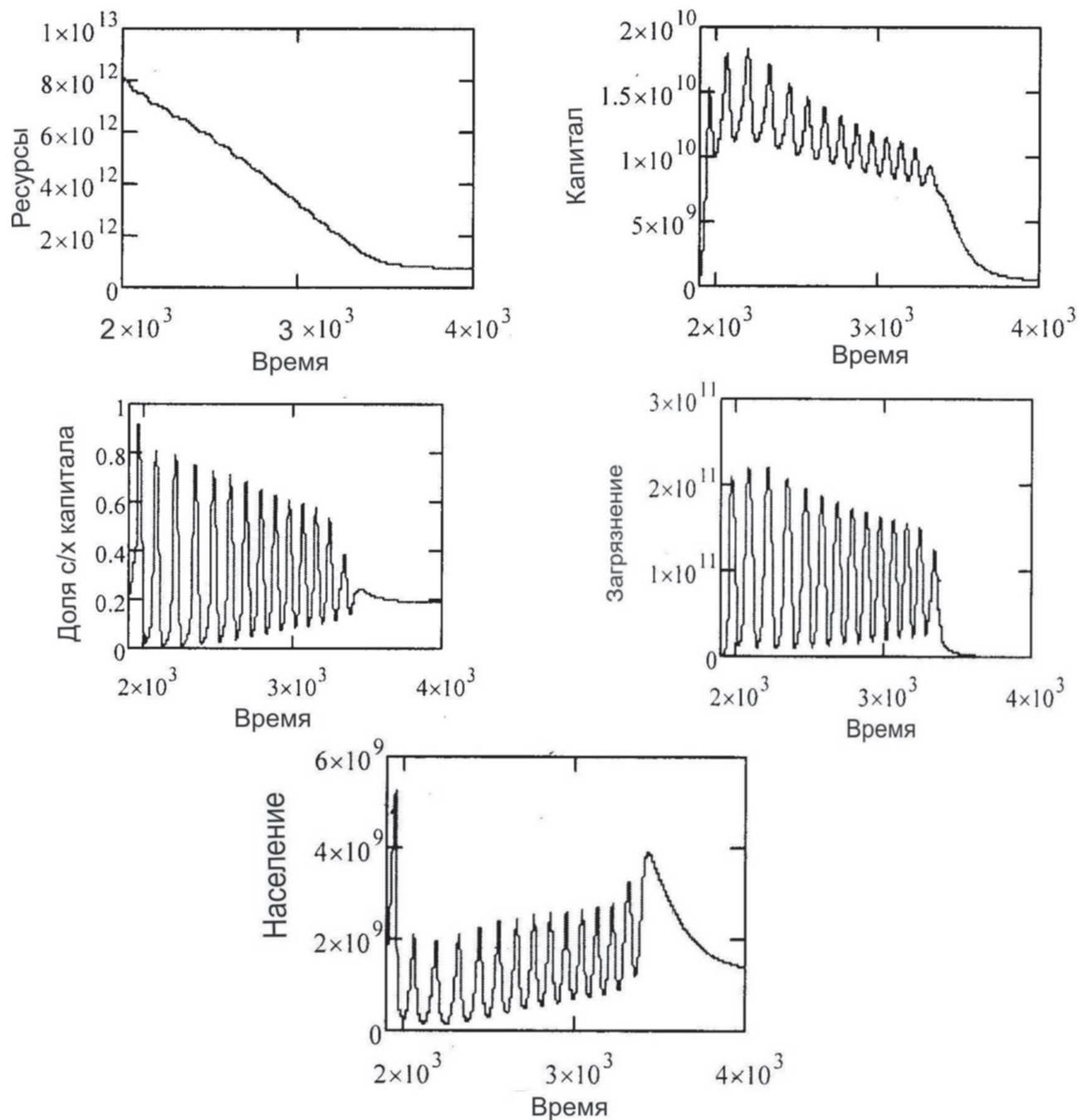


Рис. 9. Временная изменчивость компонент глобальной системы в модели «Мир-2МС». Первоначальные запасы традиционных топливных ресурсов и сланцевой нефти $R = 8 \cdot 10^{12}$ PE; сценарий 800%. Условные единицы по осям ординат объяснены в тексте

ные системы известны под названием осцилляторов с постоянным «кулоновским» трением. Роль трения в нашем случае выполняют убывающие топливные ресурсы и тесно связанный с ними капитал экономики, «притягивающие» компоненты системы к состоянию равновесия.

Численность населения, достигнув в первой осцилляции максимума в 5,6 млрд человек, во второй осцилляции рухнет до 2 млрд. Это чуть выше численности, которую может без ущерба для себя постоянно поддерживать биосфера. Дальнейшая временная изменчивость численности населения соответствует «системе с отталкивающей силой». Так в теории колебаний называется система, в которой действующая сила не притягивает, а отталкивает компонент от состояния равновесия. Роль отталкивающих сил выполняют уменьшающиеся во времени загрязнение окружающей среды и доли сельскохозяйственного капитала при весьма высоком капитале экономики.

Численность населения в завершающей осцилляции достигает второго по величине (относительного) максимума в 4 млрд человек, а период осцилляции является экстремально большим, достигающим 500 лет. Такие аномалии связаны с тем, что в это время загрязнение среды и сельскохозяйственное производство выходят на стационарный режим и не сдерживают рост численности населения. В то же время население реализует временной лаг рождаемости и постепенно переходит к стационарному движению с численностью 1,6 млрд человек, соответствующему допустимому порогу возмущения биосферы.

Термоядерная энергетика

Рассмотрим теперь сценарий эволюции цивилизации, предполагающий, что расширение ресурсно-энергетического потенциала будет происходить за счет термоядерной энергетика. Предпосылкой к его рассмотрению являются успехи в реализации управляемой реакции термоядерного синтеза, достигнутые в прошедшее десятилетие.

Сообщается⁵, что в Институте физики плазмы Китайской академии наук на экспериментальном реакторе «EAST» типа «Токамак» в 2007 г. был проведен первый в мире безубыточный, с точки зрения соотношения затраченная/полученная энергия (критерий Лоусона), термоядерный синтез. В данное время (2014 г.) это соотношение составляет 1/1,25, а в ближайшем будущем его планируется довести до 1/1,5.

На сайте общественно-политического журнала «Эхо России»⁶ и ряде других сайтов сообщается, что в Германии в Институте физики плазмы Макса Планка на экспериментальном термоядерном реак-

торе типа «Стеллатор» удалось добиться устойчивой термоядерной реакции с превышением выделенной энергии над затраченной.

Строительство международного экспериментального термоядерного реактора «ITER» планируется закончить в 2025 г. Ожидается, что первый промышленный термоядерный реактор будет построен в середине XXI столетия.

Учитывая сказанное, будем полагать, что использование термоядерной энергии в мировой экономике начнется в 2075 г. и будет возрастать по логистическому закону.

Логистическую модель роста энерговооруженности цивилизации R запишем в виде

$$\frac{dR}{dt} = (\alpha - \gamma R)R, \quad (8)$$

где: t – время;

$\alpha, \gamma > 0$ – параметры линейной зависимости r (коэффициент прироста энерговооруженности) от R :

$$r = \alpha - \gamma R.$$

Уравнение (8) имеет аналитическое решение [25]. Запишем его в виде:

$$R(t) = \frac{\alpha R_0 e^{\alpha t}}{\alpha + \gamma R_0 (e^{\alpha t} - 1)}, \quad (9)$$

где: R_0 – энерговооруженность цивилизации в начальный момент времени t_0 .

Энерговооруженность не возрастает беспредельно, а ограничена сверху:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = \alpha / \gamma. \quad (10)$$

При численной реализации сценария с расширением ресурсного потенциала за счет термоядерной энергетика в модель «Мир-2МС» внесены изменения, касающиеся уравнения для невозобновляемых топливных ресурсов. На временном интервале с 1900 по 2075 г. используется уравнение, принятое в модели «Мир-2» [32], а на последующем временном интервале – логистическая модель роста энерговооруженности. «Склепка» правых частей уравнений и их решение осуществляется непрерывным образом. При этом аналитическое решение (9) не используется, а логистическое уравнение (8) записывается в виде

$$\frac{dR}{dt} = r_0 \frac{(R_{\max} - R)}{(R_{\max} - R_0)} R, \quad (11)$$

и система уравнений пятого порядка модели «Мир-2МС» продолжает решаться методом Рунге-Кутты.

В уравнении (11) приняты следующие обозначения: $R_0 = 1,9 \cdot 10^{11}$ – запасы традиционных топливных ресурсов в 2075 г., принимаемые в качестве начального условия в логистической модели; r_0 – коэффициент прироста термоядерной энергии в момент времени $t_0 = 2075$; $R_{\max} = 21 \cdot 10^{11}$ PE – предел насыщения энер-

⁵ https://ru.wikipedia.org/wiki/Управляемый_термоядерный_синтез

⁶ ehorussia.com/new/node/11870

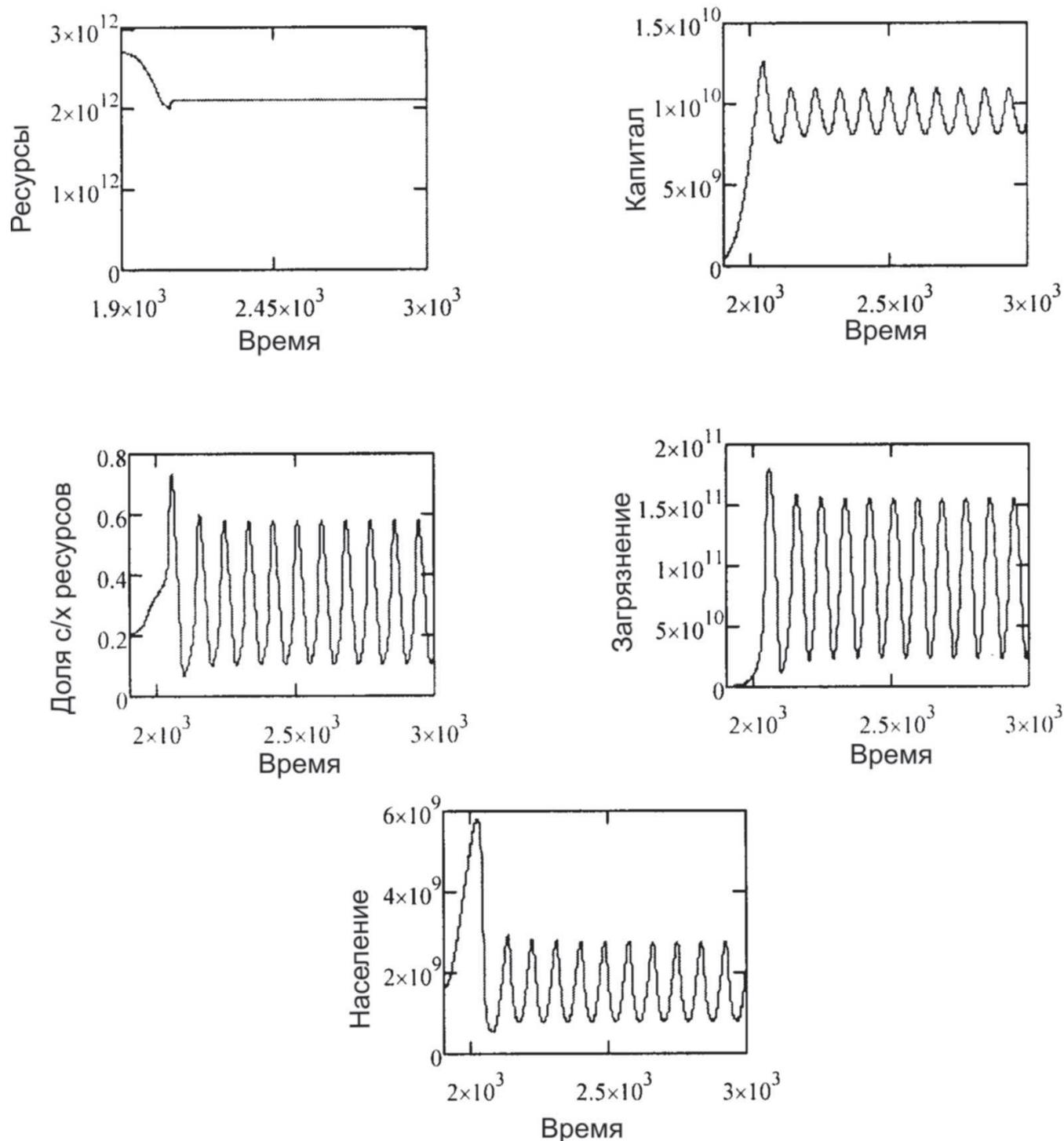


Рис. 10. Временная изменчивость компонент глобальной системы в модели «Мир-2МС». Первоначальные запасы топливных ресурсов $R = 27 \cdot 10^{11}$ PE; сценарий (300%). Начиная с 2075 г. текущие топливные ресурсы возрастают по логистической модели до постоянного уровня $21 \cdot 10^{12}$ PE за счет управляемой реакции термоядерного синтеза. Условные единицы по осям ординат объяснены в тексте

гией цивилизации, к которому асимптотически стремится решение уравнения (11).

Вывод правой части уравнения (11) с точностью до обозначений приводится в разделе 3.3 этой статьи.

Рис. 10 иллюстрирует результаты реализации сценария с термоядерной энергетикой. До 2075 г., на который приходится первое локально-устойчивое состояние для численности населения (см. рис. 12), цивилизация развивается в соответствии со сценарием $R_0 = 27 \cdot 10^{11}$ PE. В 2075 г., при текущих запасах традиционных топливных ресурсов, начинают работать промышленные реакторы управляемого термоядерного синтеза, увеличивающие по логистическому закону (11) энерговооруженность цивилизации до уровня $R_{\max} = 21 \cdot 10^{11}$ PE. По сценарию такой уровень будет поддерживаться неопределенно долго. На рис. 10 видно, что после 2075 г. все остальные компоненты модели переходят в режим работы гармонических осцилляторов. Компоненты совершают колебания постоянной амплитуды относительно своих устойчивых по Ляпунову стационарных движений. Это означает, что при широком использовании термоядерной энергетике цивилизацию ожидает бесконечная череда глубочайших экономических, экологических и демографических кризисов.

3. АЛЬТЕРНАТИВА ЦИКЛИЧЕСКОМУ РАЗВИТИЮ ЦИВИЛИЗАЦИИ

3.1. Концепция экологического доминирования человечества в биосфере

С таксономической точки зрения вид *Homo sapiens*, «человек разумный», принадлежит к царству животных и, следовательно, на него распространяется принятая в экологии концепция экологического доминирования [20, с. 185]. Согласно этой концепции из множества видов, составляющих биоценоз, лишь некоторые виды оказывают на него определяющее воздействие, обусловленное их численностью, трофическим уровнем, особенностями процессов экологического метаболизма и т. д.

Человек как биосоциальное существо не ограничился существованием в природной среде, где он, безусловно, доминирует. Он создал собственную окружающую среду, в которую, кроме природной, входят экономическая, социальная, техногенная и культурная среды. Возник производственный (социально-экономический) метаболизм, который слабо контролируется обществом и возрастает с развитием производства. Ассимиляционные способности (потребление возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов) и экономический катаболизм (загрязнение окружающей среды и деструкция природных ландшафтов) по мере роста производства разрослись до таких пределов, что подрывают природно-ресурсный потенци-

ал планеты. Человечество стало основной доминантой не только биоты Земли, но и биосферы. Силу доминирования человечества В.И. Вернадский сравнивает с геологическими силами, сформировавшими современный облик планеты [7]. Поэтому поиски пути к глобальному равновесию, основанные на ограничении производственного метаболизма без коррекции мощности его генератора, то есть численности населения, оказались безрезультатными.

Следует согласиться с точкой зрения К.Я. Кондратьева: «Если бы человечество вернулось в пределы хозяйственной емкости биосферы, то все экологические проблемы исчезли бы автоматически, прекратились бы антропогенные изменения окружающей среды. Для этого необходимо, однако, предпринять ряд мер, в особенности по стабилизации, а затем – сокращению численности населения планеты» [13, с. 37].

Осознавая невозможность в ближайшее время «перейти к глобальной стратегии сокращения численности населения», К.Я. Кондратьев ищет выход в восстановлении естественных сообществ биосферы. «Необходимо сократить площадь нарушенных человеком земель с 61% в настоящее время до 38%», то есть на 23% или на 3,2 млн км² [13, с. 38]. И это при условии, что на этой территории первичная биологическая продукция будет равна среднеглобальной. Но сокращение площадей земель, нарушенных цивилизацией, приведет к нарушению сложившегося социально-экономического метаболизма. Произойдет сокращение ассимиляционных возможностей человечества, что повлечет за собой сокращение его численности. Рассмотрим эту проблему подробнее.

Земельные ресурсы цивилизации

Площадь суши планеты равна $146 \cdot 10^6$ км². Из них пригодная для жизни по климатическим условиям площадь⁷ составляет $70,6 \cdot 10^6$ км². Площадь пашни оценивается в $15 \cdot 10^6$ км², а пастбищ – в $25 \cdot 10^6$ км², что составляет, соответственно, 21 и 35% территории суши, пригодной для жизни⁸. Площадь лугостепных экосистем оценивается в $9 \cdot 10^6$ км² [24]. Вычтем ее из общей площади пастбищ. Тогда на долю «рукотворных» пастбищ, образованных в результате ландшафтно-деструктивных воздействий, придется $16 \cdot 10^6$ км². С учетом этого общая площадь земель, изъятых у биосферы на нужды сельскохозяйственного производства, равна $31 \cdot 10^6$ км², что составляет 44% жизнепригодной территории суши.

Площадь урбанизированных территорий в 1980 г. равнялась $4,7 \cdot 10^6$ км². В 2007 г. она возросла⁹ до $19 \cdot 10^6$ км². Это составляет 27% жизнепригодной территории суши.

⁷ portaleco.ru/ekologija-goroda/istorija-i-perspektiva-urbanizacii.html

⁸ www.activestudy.info/zemelnye-resursy/

⁹ ru-ecology.info/temm/12651/

Таким образом, общая площадь нарушенных цивилизацией земель равна $50 \cdot 10^6 \text{ км}^2$, что составляет 71% жизнепригодной территории суши. Для восстановления естественных сообществ биосферы по состоянию на 2007 г. необходимо сократить площадь нарушенных человеком земель с 71 до 38% (цифра К.Я. Кондратьева), то есть на 33% или на $23,2 \cdot 10^6 \text{ км}^2$.

Восстановление продукционного потенциала биосферы

Оно возможно за счет площадей, использующихся в сельскохозяйственном производстве и (или) урбанизированных территорий. Рассмотрим эти варианты.

1. Восстановление потенциала биосферы за счет сокращения площадей сельскохозяйственного назначения.

Оценим вначале численность населения, которую способна обеспечить продовольствием современная площадь сельхозугодий. При численности населения Земли в 2007 г., равной 6,5 млрд, удельная сельскохозяйственная площадь, эквивалентная $31 \cdot 10^6 \text{ км}^2$, составляет 0,48 га/чел. «Расчеты показывают, что для обеспечения продуктами питания каждого жителя нашей планеты надо 0,4–0,5 га земли при современных, близких к предельным, уровням урожайности» [3, с. 24]. Таким образом, современные площади сельхозугодий способны обеспечить продовольствием 6,5 млрд человек.

При изъятии $23,2 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ из современной площади сельхозугодий для производства мировой сельхозпродукции останется $7,8 \cdot 10^6 \text{ км}^2$. При численности населения 6,5 млрд удельная площадь, предназначенная для производства продовольствия, составит 0,12 га/чел. Это в четыре раза меньше нормы. Таким образом, восстановление продукционного потенциала биосферы за счет сокращения площади сельхозугодий приведет к сокращению численности населения планеты в 4 раза, до 1,63 млрд человек. Подчеркнем, что такая численность согласуется с однопроцентным порогом потребления первичной продукции биосферы, обеспечивающим ее стабильность (см. раздел 2.2 этой статьи) и начальными условиями для переменной P в моделях «Мир-2» и «Мир-2МС» на 1900 г.

2. Восстановление потенциала биосферы за счет сокращения площади урбанизированных территорий.

Площадь урбанизированных территорий составляет 38% площади нарушенных цивилизацией земель, и для частичного восстановления потенциала биосферы должна быть изъята у цивилизации полностью. При таком сценарии 6,5 млрд особей вида *Homo sapiens* должны будут вернуться к первобытному образу жизни в лесах и пещерах.

3. Восстановление потенциала биосферы за счет частичного сокращения площадей сельскохозяйственного назначения.

Рассмотрим сценарий, в котором урбанизированные площади земли ($19 \cdot 10^6 \text{ км}^2$) не изымаются. Сокращаются до $19 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ современные площади сельхозугодий ($31 \cdot 10^6 \text{ км}^2$). Таким образом, восстановлению подлежит площадь, равная $12 \cdot 10^6 \text{ км}^2$. Соответствующая ей удельная площадь, предназначенная для производства продовольствия, составляет 0,18 га/чел. Это в 2,5 раза ниже нормы, обеспечивающей полноценное питание человека. При нормальном питании численность населения планеты уменьшится с 6,5 млрд до 2,5 млрд.

Вывод: идея восстановления продукционного потенциала биосферы за счет сокращения площадей земель, нарушенных цивилизацией, сегодня не может быть осуществлена без одновременного сокращения экологической доминанты биосферы – численности населения планеты.

3.2. Локально-стационарные точки циклического движения численности населения

Выход из череды повторяющихся цивилизационных кризисов, предсказываемых моделью «Мир-2 MathCad», будем искать, исходя из доминирующей роли человечества в развитии биосферы. Уравнение демографического сектора в модели «Мир-2» записывается в виде

$$\frac{dP}{dt} = B - D, \quad (12)$$

где: B, D – скорости рождаемости и смертности населения P , имеющие размерность чел/г [32].

Функции B и D определяются выражениями

$$B = P \cdot C_B \cdot B_C \cdot B_F \cdot B_P \cdot B_Z, \quad (13)$$

$$D = P \cdot C_D \cdot D_C \cdot D_F \cdot D_P \cdot D_Z. \quad (14)$$

Здесь $C_B = 0,04$ (1/год), $C_D = 0,028$ (1/год) – коэффициенты рождаемости и смертности населения в «эталонном» 1970 г.; $B_C = B_C(C)$ и $D_C = D_C(C)$, $B_F = B_F(F)$ и $D_F = D_F(F)$, $B_P = B_P(P)$ и $D_P = D_P(P)$; $B_Z = B_Z(Z)$ и $D_Z = D_Z(Z)$ – графически (таблично) заданные функции, отражающие зависимость скорости рождаемости и смертности от: материального уровня жизни C , уровня питания F , плотности населения P , загрязнения природной среды Z . В «нормальных» условиях жизни 1970 г. эти функции не изменяют скоростей рождаемости и смертности и равны единице. При улучшении или ухудшении условий жизни значение соответствующей функции становится большим или меньшим единицы. Аргументы функции влияния, в свою очередь, зависят от текущих значений компонентов модели.

С учетом сказанного выражения (13), (14) запишем в общем виде

$$B = b(R, R, X, Z)P, \quad (15)$$

$$D = d(R, K, X, Z)P, \quad (16)$$

где: b, d – коэффициенты рождаемости и смертности.

Но:

$$B - D = E, \quad (17)$$

где: E – скорость прироста численности населения.

Очевидно, что

$$E = \varepsilon(R, K, X, Z)P, \quad (18)$$

где: ε – коэффициент прироста численности населения.

С учетом выражений (17), (18) уравнение (12) представим в виде

$$\frac{dP}{dt} = \varepsilon(R, K, X, Z)P, \quad (19)$$

или

$$\frac{1}{P} \frac{dP}{dt} = \varepsilon(R, K, X, Z). \quad (20)$$

Напомним, что в результате решения системы уравнений модели «Мир-2МС» все ее переменные определялись как функции времени. Левая часть уравнения (20) $1/P (dp/dt)$, тождественно равная $\varepsilon(R, K, X, Z)$, позволяет изобразить фазовую траекторию, используя параметрическую форму $[\varepsilon(t), P(t)]$, где в качестве параметра выступает время. Эту же траекторию можно получить как множество точек на плоскости $\{1/P(t) [dP(t)/dt], P(t)\}$. На рис. 11 представлена фазовая траектория для модельного сценария (300%) с начальным запасом топливных ресурсов $R_0 = 27 \cdot 10^{11}$ единиц ресурсов.

Спиралевидная фазовая траектория, изображенная на рис. 11, в популяционной экологии называется «кривой типа Олли». Она присуща популяциям с ярко выраженным групповым поведением и взаимопомощью, например, популяциям птиц и животных, у которых существуют групповые формы защиты от нападения хищников, совместного выращивания потомства и т. п. [25]. Выясняется, что присуща она и для человечества.

Сплайновая аппроксимация зависимости типа Олли позволяет решить уравнение (19) численным методом. Это решение, с точностью до аппроксимации, совпадает с поведением переменной $P(t)$ в модели «Мир-2МС».

Стационарное движение глобальной модели – это то предельное движение, к которому она стремится. Частным случаем стационарного движения является невыраженное состояние равновесия, в котором скорости, определяемые из дифференциальных уравнений, описывающих поведение глобальной модели, обращаются в ноль. Говорить о глобальном стационарном состоянии модели можно только в том случае, если существует точка в фазовом пространстве компонент, в которой все правые части уравнений модели равны нулю при $t \rightarrow \infty$.

Будем обозначать локально-стационарные точки индексом ^(с). Тогда локально-стационарные точки $P^{(с)}$ уравнения (19) определяются из условия $dP/dt = 0$. В случае зависимости типа Олли возможно существование нескольких локально-стационарных точек. В сценарии $R_0 = 27 \cdot 10^{11}$ (300%) таких точек 6 (рис. 11). Устойчивость или неустойчивость этих точек определяется по знаку производной $\frac{d}{dP}[\varepsilon(P)P]$ в стационарной точке $P^{(с)}$ [25].

Раскроем эту производную:

$$\varepsilon(P)P] = P \frac{d\varepsilon(P)}{dP} + \varepsilon(P) \frac{dP}{dP} = P \frac{d\varepsilon(P)}{dP} + \varepsilon(P). \quad (21)$$

В соответствии с уравнением (20) запишем:

$$\frac{d}{dP}[\varepsilon(P)P] = P \frac{d\varepsilon(P)}{dP} + \frac{1}{P} \frac{dP}{dt}. \quad (22)$$

Но в стационарной точке, по определению, $dP/dt = 0$. Поэтому вместо выражения (22) запишем:

$$\frac{d}{dP}[\varepsilon(P)P] = P \frac{d\varepsilon(P)}{dP}. \quad (23)$$

Локально-стационарная точка называется устойчивой, если в ней $d\varepsilon(P)/dP < 0$, и неустойчивой, если $d\varepsilon(P)/dP \geq 0$. Знак производной определяется по знаку тангенса угла между положительным направлением оси P и касательной к функции $\varepsilon(P)$ в стационарной точке.

Видно (рис. 12), что в сценарии с начальным условием $R_0 = 27 \cdot 10^{11}$ единиц ресурсов присутствуют 2 устойчивые $P^{(сy)}$ и 3 неустойчивые $P^{(сн)}$ локально-стационарные точки, а также устойчивое по Ляпунову движение, асимптотически приближающееся к предельной плотности насыщения популяции P^* . В рассматриваемом сценарии $P^* = 1,3$ млрд человек.

Каково бы ни было ненулевое значение численности населения P , популяция стремится к локально-устойчивым стационарным состояниям. Если $P \in (P_0, P_1^{(сн)})$, то популяция стремится к стационарному состоянию $P_1^{(сy)}$, если $P \in (P_1^{(сн)}, P_2^{(сн)})$, то к $P_1^{(сy)}$, если $P \in (P_3^{(сн)}, \infty)$, то к P^* (рис. 12). Очевидно, что оптимальным значением P_0 в сценарии, моделирующем ускоренный переход от циклического развития цивилизации к стационарному движению, является локально-стационарное состояние $P_1^{(сy)}$.

3.3. Ускоренный переход от циклического к стационарному движению цивилизации

На 1 января 2016 г., несмотря на ограничение рождаемости экономическими методами (одна семья – один ребенок), население Китайской Народной Республики достигло 1,378 млрд человек, а его годовой прирост – 7,28 млн¹⁰. Это больше, чем стационарное движение

¹⁰ countrymeters.info/ru/China



Рис. 11. Кривая типа Олли для численности населения в модели «Мир-2МС». Первоначальные запасы топливных ресурсов $R = 27 \cdot 10^{11}$ PE; сценарий (300%)

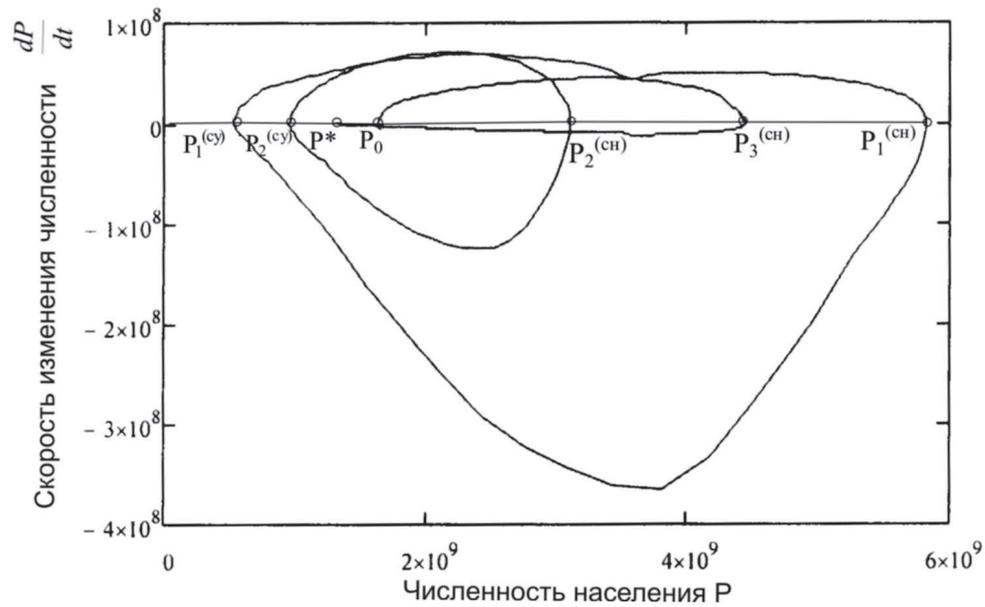


Рис. 12. Фазовая диаграмма модели $dP/dt = \varepsilon(R, K, X, Z)P$. Первоначальные запасы традиционных топливных ресурсов $R_0 = 27 \cdot 10^{11}$; сценарий (300%). Принятые обозначения: P_0 – тривиальное устойчивое состояние; $P_1^{(cy)}, P_2^{(cy)}$ – локально-устойчивые стационарные состояния; $P_1^{(ch)}, P_2^{(ch)}, P_3^{(ch)}$ – локально-неустойчивые стационарные состояния; P^* – предельная плотность насыщения популяции

в модели «Мир-2МС». Население Республики Индия на эту же дату составило 1,252 млрд¹¹. В 1994 г. в Каире состоялась Конференция ООН по народонаселению и развитию¹². Она показала, что групповые, национальные и конфессиональные интересы преобладают над общечеловеческими. Численность населения планеты с тех пор увеличилась на 1,622 млрд и на 1 января 2016 г. достигла 7,296 млрд¹³. Мировые экономические кризисы и многочисленные локальные войны в условиях однополярного мира отвлекают огромные финансовые ресурсы от решения глобальных проблем человечества. В таких условиях только «социальные оптимисты» могут полагать, что все уладится само собой. Время, необходимое для реформирования мировой системы, упущено. Первой осцилляции численности населения и социально-экономических показателей, по-видимому, не избежать.

Вторая и последующие осцилляции численности могут быть предотвращены, если после демографического кризиса во второй половине XXI в. численность населения планеты будет зарегулирована в соответствии с логистической моделью

$$\frac{dP}{dt} = (\alpha - \gamma P)P. \quad (24)$$

Здесь $\varepsilon = \alpha - \gamma P$ есть коэффициент прироста численности населения P ; $\alpha, \gamma > 0$ суть параметры линейной зависимости коэффициента прироста от численности населения.

Население возрастает не беспредельно. Его численность ограничена сверху:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = \alpha/\gamma = P_{\max}, \quad (25)$$

где P_{\max} – предел насыщения численности популяции, к которому асимптотически стремится P .

Перепишем уравнение (24) в виде

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\alpha}{\gamma} - P \right) P, \quad (26)$$

или в соответствии с (25) в виде

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{\gamma} (P_{\max} - P)P. \quad (27)$$

Здесь γ – свободный параметр. Выразим его через другие постоянные, имеющие смысловую нагрузку: P_0, ε_0 – численность населения и коэффициент ее прироста в начальный момент времени t_0 . Очевидно, что $\varepsilon_0 = \varepsilon_0(P_0)$. Положим:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{\varepsilon_0}{P_{\max} - P_0}. \quad (28)$$

Подставив выражение (28) в уравнение (27), получим

$$\frac{dP}{dt} = \varepsilon_0 \frac{(P_{\max} - P)}{(P_{\max} - P_0)} P. \quad (29)$$

Это эквивалентная форма записи логистической модели (24). Очевидно, что линейная зависимость коэффициента прироста от численности населения определяется выражением

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \frac{(P_{\max} - P)}{(P_{\max} - P_0)}. \quad (30)$$

Ускоренный переход от циклического к стационарному движению цивилизации рассмотрим на примере сценария с традиционными запасами топливных ресурсов $R_0 = 27 \cdot 10^{11}$ РЕ (300%). В этом, наиболее вероятном, сценарии первое локально-устойчивое стационарное состояние приходится на 2075 г. при численности населения $P_1^{(cy)} = 0,54$ млрд (рис. 12). Примем эту численность в качестве начального условия $P_0 = 0,54$ в логистической модели. Коэффициент прироста численности населения ε_0 в 2075 г. примем равным 0,02. Предел насыщения численности популяции P_{\max} примем численно равным стационарному, по Ляпунову, движению населения: $P_{\max} = P^* = 1,5$ млрд человек.

Рис. 13 иллюстрирует процесс ускоренного перехода Мировой системы к стационарному, по Ляпунову, движению. Видно, что при $\varepsilon = 0,02$ численность населения выходит на стационарный режим приблизительно через 160 лет, то есть к 2240 г. Варьируя параметр ε_0 , можно ускорить или замедлить выход численности на стационарный режим.

Для объяснения временной изменчивости компонент Мировой системы в рассматриваемом сценарии воспользуемся историческими примерами и потоковыми диаграммами (петлями обратной связи) модели «Мир-2» [32].

После завершения первого демографического кризиса численность населения упадет до 0,54 млрд. Обратимся к истории. Такая численность была в середине XVII в. [23]. Тогда человечество в качестве двигателей в мануфактурах использовало водяные колеса и ветряные мельницы. Численность населения 1,5 млрд была в конце XIX в. Тогда основным двигателем на заводах была паровая машина, а топливом – дрова. Человечество в это время существовало за счет возобновляемых топливных ресурсов. Теперь посмотрим в будущее. Достигнутая после роста по логистическому закону численность населения 1,5 млрд человек в последующие столетия не изменится. Население будет находиться в стационарном движении, главным образом, за счет возобновляемых природных ресурсов. Невозобновляемые топливные ресурсы после 2075 г. практически не потребуются, и их стационарное движение будет происходить на уровне $19 \cdot 10^{11}$ РЕ.

¹¹ countrymeters.info/ru/India

¹² www.r-komitet.ru/s_i_d/kair1.htm

¹³ https://ru.wikipedia.org/wiki/население_Земли

Капитал экономики (основные фонды промышленности, предприятий сервисного обслуживания и сельского хозяйства), согласно потоковой диаграмме, зависит от инвестиций и времени «жизни» (скорости износа) основных фондов. Инвестиции, в свою очередь, являются функцией численности населения (количества инвесторов) и материального уровня жиз-

ни населения, зависящего, в свою очередь, от текущих запасов топливных ресурсов. Основные фонды экономики ($1,3 \cdot 10^{10}$ единиц капитала, ЕК), сформировавшиеся в фазе подъема цивилизации (1900–2022 гг.) за счет инвесторов (5,81 млрд человек) с достаточно высоким материальным уровнем жизни, имеют значительный временной лаг (время «жизни» фондов, рав-

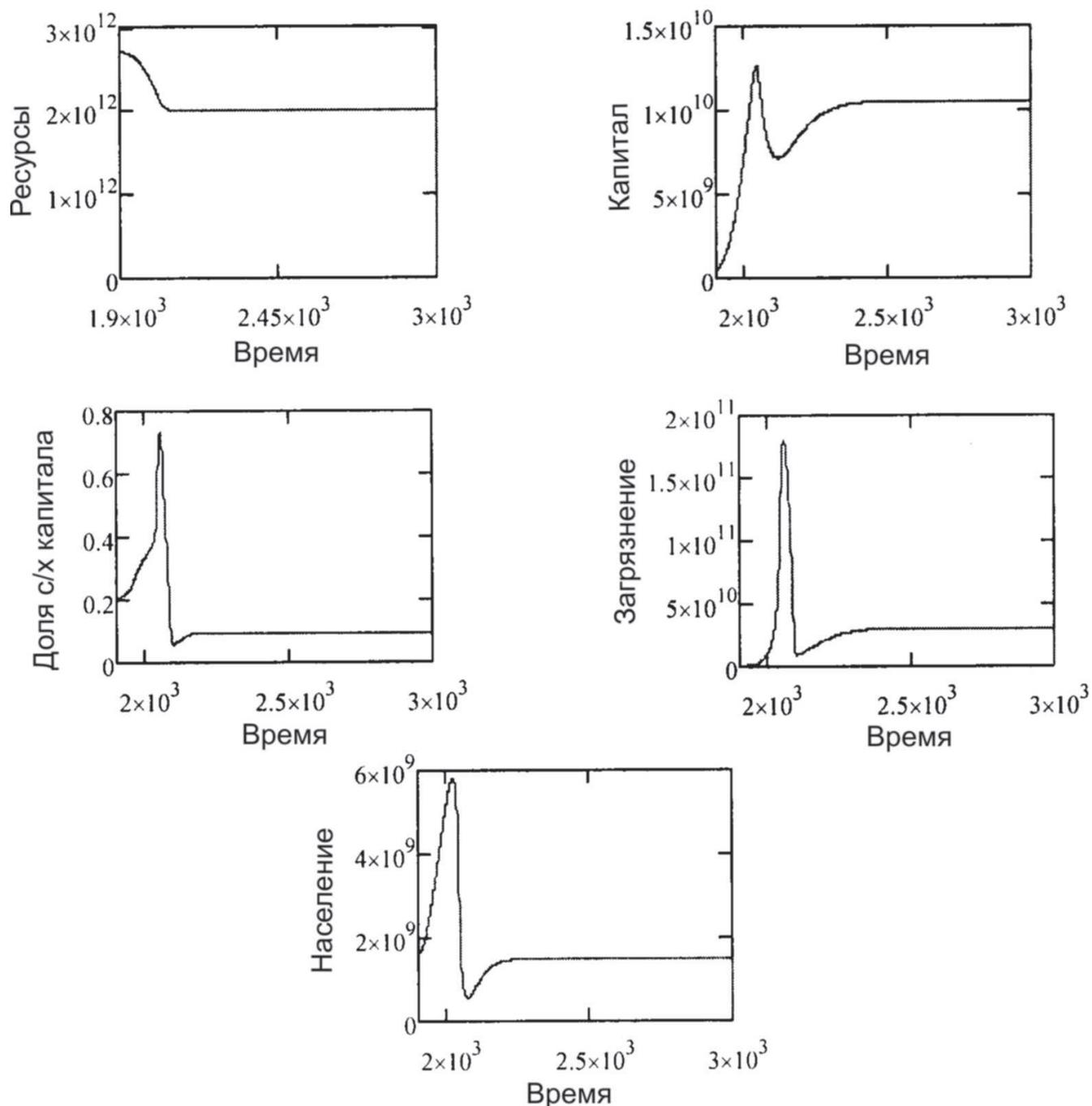


Рис. 13. Временная изменчивость компонент глобальной системы в модели «Мир-2МС». Первоначальные запасы традиционных топливных ресурсов $R_0 = 27 \cdot 10^{11}$ РЕ; сценарий (300%). С 2075 г. численность населения изменяется по логистической модели с параметрами $\alpha = 0,02$ и $P^* = 1,5$ млрд человек

ное 40 годам). В фазе падения численности населения (2022–2075 гг.) этот лаг удерживает основные фонды на уровне $7,5 \cdot 10^9$ ЕК. В фазе логистического роста численности населения (инвесторов) основные фонды увеличиваются до 10^{10} ЕК и выходят, вслед за населением, на уровень стационарного движения.

Доля сельскохозяйственных фондов в общих фондах экономически определяется, главным образом, уровнем питания населения и временем «жизни» сельскохозяйственных фондов. В фазе подъема численности населения доля сельскохозяйственных фондов постоянно возрастает и достигает 0,75 от общих фондов экономики. Небольшой временной лаг фондов сельского хозяйства (15 лет) не спасает их от деградации в фазе падения численности населения. К 2075 г. их доля опускается до 0,06. В фазе логистического роста численности населения доля сельскохозяйственных фондов возрастает до 0,09 и выходит на уровень стационарного движения.

Уровень загрязнения природной среды зависит от скорости генерации загрязнителей и их деструкции. Скорость генерации является функцией численности населения и величины капитала на душу населения. Скорость деструкции зависит от величины загрязнения и скорости самоочищения среды обитания. В фазе подъема численности населения и капитала загрязнение увеличивается до уровня $1,7 \cdot 10^{11}$ единиц загрязнения. В фазе падения этих компонент загрязнение уменьшается за счет сокращения его генерации и увеличения деструкции. В фазе логистического роста численности населения и капитала экономики загрязнение вновь увеличивается до $2,5 \cdot 10^{11}$ единиц загрязнения и выходит на уровень стационарного движения.

Может сложиться впечатление, что стационарное движение цивилизации возвращает ее в XIX в. Это не так. Для того, чтобы убедиться в этом, достаточно сравнить начальные условия компонент и уровни их стационарного движения. Видно, что капитал экономики существенно вырос, что привело к повышению материальной составляющей качества жизни населения. Пищевая составляющая качества жизни также увеличилась. Действительно, сельскохозяйственный капитал, определяемый как капитал экономики, умноженный на долю сельскохозяйственного капитала, в 1900 г. составлял $0,08 \cdot 10^9$ единиц капитала, а в 2500 г. – $0,9 \cdot 10^9$ единиц.

4. ГИПОТЕЗА О СВЯЗИ ЦИКЛОВ РАЗВИТИЯ ЦИВИЛИЗАЦИИ С ФАЗАМИ ГЛОБАЛЬНОГО ГИПЕРЭТНОСА

«Безболезненный» ускоренный переход населения планеты к стационарному движению возможен, по видимому, только после формирования глобальной

гиперэтнической системы на основе общей ментальности населения – особенностей психического склада и мировоззрения людей. Рассмотрим этот тезис подробнее.

Становление глобального гиперэтнуса происходит уже сегодня в процессе глобализации. Наступившая в конце XX – начале XXI в. постиндустриальная эпоха характеризуется бурным развитием транснациональных корпораций и общего рынка, интернационализирующих экономическую жизнь планеты. Усилилась деградация природных ландшафтов, являющихся вместилищем этносов. В постиндустриальную эпоху происходит невиданное ранее развитие информационных технологий. Всемирная паутина Интернета, телекоммуникационные сети, спутниковое телевидение формируют единое мировое информационное поле. Массовая культура заменяет классическую и народную. Происходит межгосударственная стандартизация образования и унификация международного языкового общения на англоязычной основе. Быстро развиваются международные транспортные коммуникации. На планете сформировался пояс голода. Он простирается вдоль экватора и тропиков через Африку, Ближний и Средний Восток, Юго-Восточную Азию и Латинскую Америку, где голодают 28–30% населения [14]. Следствием неравномерного социально-экономического развития государств являются плановые и неуправляемые трудовые миграции населения, ведущие к смешению этнических общностей. Все эти процессы повышают вероятность формирования единой ментальности человечества и на ее основе глобальной гиперэнергетической системы, способной регулировать рождаемость населения при переходе к логистической модели роста его численности.

В статье [30] рассматриваются фазы этногенеза Североамериканского, Западноевропейского, Китайского, Мусульманского и Евразийского суперэтнуса. Сделан вывод, что наиболее вероятным ядром формирования Мирового гиперэтнуса является Североамериканский суперэтнос, как наиболее молодой, находящийся в «фазе подъема» и наиболее пассионарный.

В дальнейшем изложении будем исходить из гипотезы, что становление глобального гиперэтнуса происходит уже сегодня в процессе глобализации, а ядром его формирования является суперпозиция Североамериканского и Западноевропейского суперэтнуса, обладающих высоким пассионарным напряжением и сходной ментальностью. На сегодняшний день это наиболее вероятный сценарий. Из трех реализованных на модели «Мир-2МС» сценариев развития глобальной социально-экологической системы остановимся на сценарии с увеличенными на 300% по сравнению с моделью «Мир-2» запасами невозобновляемых природных ресурсов. С учетом возрастающего во времени потребления ресурсов и увеличения

стоимости их добычи этот сценарий представляется наиболее вероятным. Трехкратному увеличению запасов соответствуют начальное условие $R_0 = 2700 \cdot 10^9$ (предполагается, что начиная с 1900 г. ресурсов хватило бы на 750 лет при скорости их потребления, существовавшей в 1970 г.). Начальные условия для остальных компонентов моделей в этом сценарии приняты такими же, как в базовом варианте модели «Мир-2»: для населения $P_0 = 1,65 \cdot 10^9$ человек; для капитала мировой экономики $K_0 = 0,4 \cdot 10^9$ единиц капитала (предполагается, что в 1900 г. на человека приходилось вчетверо меньше капитала, чем в 1970 г.); для доли сельскохозяйственного капитала в общем капитале экономики $X_0 = 0,2$; для загрязнения природной среды $Z_0 = 0,2 \cdot 10^9$ единиц загрязнения капитала (считается, что в 1900 г. на душу населения приходилось в 8 раз меньше загрязнений, чем в 1970 г.). Результаты моделирования развития глобальной социально-экологической системы иллюстрирует рис. 14.

По оси абсцисс на рис. 14 отложены годы с 1900 до 2800 и указаны наименования фаз этногенеза. Оцифровка оси ординат единая для всех компонент системы. В легенде указаны названия и графические идентификаторы компонент и делители, на которые необходимо разделить снятые с графиков значения компонент для того, чтобы определить их фактические величины.

Анализ результатов моделирования показывает, что осцилляция компонент социально-экологической системы качественно коррелирует с фазами этногенеза, обнаруженными Л.Н. Гумилевым при изучении исторических материалов. Это обстоятельство дает возможность совместного рассмотрения этнической и социально-экологической составляющих развития цивилизаций.

Фаза подъема гиперэтнуса

В этой фазе выделяются два этапа: скрытый и явный подъем. Началом этапа скрытого подъема будем считать первую половину VIII в. – время усиливающегося переселения пассионариев из Европы в Северную Америку, начала индустриальной эры цивилизаций (домонополитический капитализм), начала демографического взрыва на планете (в 1650 г. численность населения планеты оценивается в 550 млн человек [23]). Продолжительность первого этапа Л.Н. Гумилев оценивает в 150–200 лет. Таким образом, явный этап фазы подъема наступил в начале XX в.

В явном этапе фазы подъема происходит интенсивный рост пассионарного напряжения в этнической системе. Пассионарные индукторы сплавивают в своем поле массу гармоничных личностей. Для этой фазы характерен рост всех видов активности гиперэтнуса: демографический взрыв, экономический рост, экологические неурядицы, внутренние конфликты, быст-

рый рост числа этнических подсистем, высокая дисциплина этнического коллектива.

Экспоненциальный рост численности населения влечет за собой рост численности пассионариев по такому же закону. Из-за повышенной фертильности пассионариев их численность может увеличиваться даже быстрее, чем это происходит у гармоничных личностей.

Свидетельством роста пассионарного напряжения в глобальном гиперэтноте является также распад колониальной системы, произошедший после Первой и Второй мировых войн. Бывшие колонии превратились в независимые государства, увеличив, тем самым, сложность глобальной гиперсистемы. Международным органом управления этой системой стала Организация Объединенных Наций.

Увеличение активности экономических агентов гиперэтнота на явном этапе стадии подъема выразилось в переходе от домонополитического капитализма к монополистическому, формированию транснациональных компаний, бурному росту валового внутреннего продукта (ВВП) и валового национального продукта (ВНП), слагающих систему государств. Движущей силой роста рыночной экономики являются предприниматели – люди энергоизбыточного типа, стремящиеся к достижению максимальной прибыли при минимальных издержках производства.

По данным модели «Мир-2МС» основные фонды мировой экономики возросли от $0,4 \cdot 10^9$ единиц капитала в 1900 г. до $0,65 \cdot 10^{10}$ единиц в 1990 г., то есть в 15,6 раза. Растущая численность населения потребовала увеличения доли сельскохозяйственного капитала от 0,2 в 1900 г. до 0,32 в 1990 г. Постепенно растет загрязнение природной среды. Запасы невозобновляемых природных ресурсов за 90-летний интервал времени снизились с $27 \cdot 10^{11}$ до $24,1 \cdot 10^{11}$ РЕ. Таким образом, за явный этап фазы подъема гиперэтнота использовано только 10,8% первоначальных запасов ресурсов.

Акматическая фаза гиперэтнуса

Фаза акматическая – это колебание пассионарного напряжения в этнической системе после фазы подъема на предельном для данной системы уровне пассионарности. Время окончания фазы подъема и начала акматической фазы можно определить по изменению типа связи между коэффициентом прироста численности населения и самой численностью – по смене положительной корреляционной связи на отрицательную. Формально, это точка перегиба кривой роста численности населения, в которой $(d^2P(t)) / (dt^2) = 0$. В дискретном представлении, при шаге по времени, равном 1 году, точка перегиба кривой определяется выражением: $P_{i+1} - 2P_i + P_{i-1} = 0$. Расчеты, выполненные на модели «Мир-2МС», показали, что начало акматической фазы приходится на 1990 г. По данным демографиче-

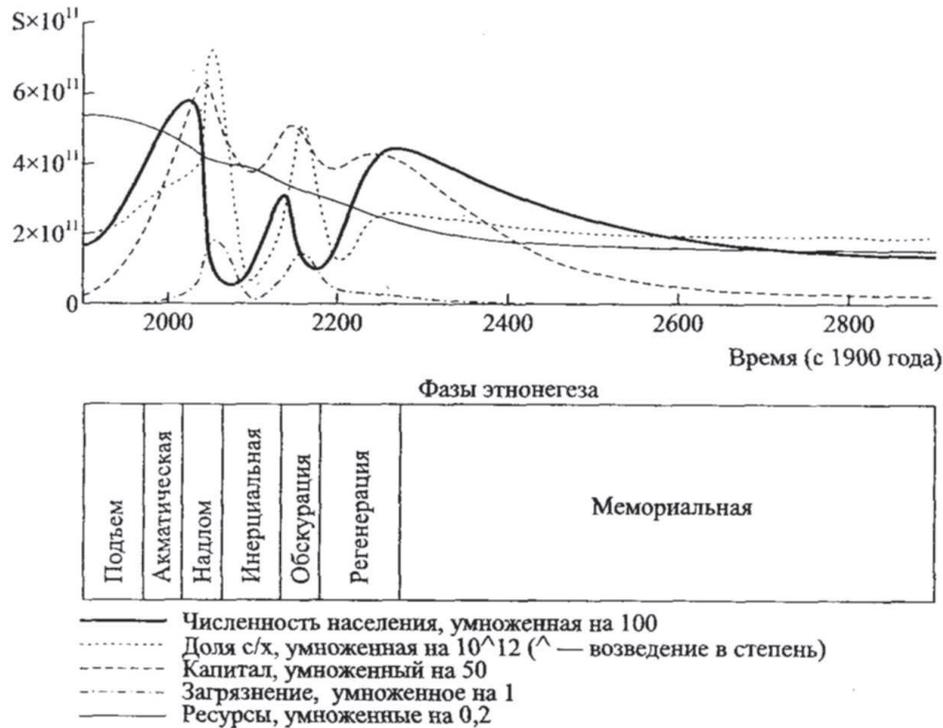


Рис. 14. Временная изменчивость компонент глобальной социально-экологической системы и фазы этногенеза глобального гиперэтнуса. Пояснения к рисунку см. в тексте статьи

ской статистики в 1987 г. численность населения планеты составляла 5 млрд человек, в 2000 г. – 6 млрд в 2012 г. – 7 млрд. Таким образом, прирост численности стабилизировался, что согласуется с результатами моделирования.

В акматической фазе у пассионариев появляется стремление к максимальному утверждению себя как личности, даже вопреки интересам родного этноса. В новейшей истории примером такого самоутверждения является сговор политических лидеров РСФСР, Украинской ССР и Белорусской ССР в Беловежской пуще, оформивших, вопреки результатам всенародного референдума, выход своих республик из состава СССР и, как следствие этого, образование 15 государств на территории бывшего СССР.

Рост индивидуализма, сопровождающийся усилением пассионарного напряжения в системе, приводит гиперэтнос в состояние «пассионарного перегрева». В этом состоянии избыточная пассионарность расходует на межэтнические конфликты. Примеры: «парады суверенитетов» в бывших автономных республиках РСФСР: Чечне, Ингушетии, Северной Осетии, Татарстане; Карабахский конфликт; конфликты между Грузией, Абхазией и Южной Осетией; межэтнические войны на территории Социалистической Федеративной Республики Югославии. В акматической фазе число этнических подсистем и значимых событий в этнической

истории достигает максимума. Фаза еще не завершилась, и за оставшееся время многое может произойти.

По данным моделирования, численность населения в акматической фазе увеличивается с 4,82 млрд в 1990 г. до 5,81 млрд в 2022 г. Но скорость роста численности постепенно уменьшается до нуля. Основные фонды мировой экономики продолжают устойчиво расти с $0,65 \cdot 10^{10}$ ЕК в 1990 г. до $1,1 \cdot 10^{10}$ единиц в 2022 г., то есть в 1,7 раза. Продолжающийся рост численности населения требует дальнейшего расширения сельскохозяйственного производства. Доля сельскохозяйственного капитала за годы фазы обскурации возросла с 0,32 до 0,37. Загрязнение природной среды продолжает увеличиваться. Запасы невозобновляемых природных ресурсов за 32-летний интервал времени снизились с $24,1 \cdot 10^{11}$ до $21,9 \cdot 10^{11}$ РЕ.

Фаза надлома гиперэтнуса

По Л.Н. Гумилеву в фазе надлома происходит резкое снижение численности населения. Пропорционально этому снижается и численность пассионариев. Пассионарное напряжение в этнической системе резко падает. Это сопровождается расколом этнического поля, острыми конфликтами в этнической системе, ростом числа субпассионариев. Субпассионарность проявляется в неспособности сдерживать инстинктивные вожделения, асоциальном поведении,

паразитизме, недостаточной заботе о потомстве. Суб-пассионарии обычно скапливаются в городах. Такое сосредоточение приводит к громадному росту алкоголизма, наркомании, преступности.

По данным моделирования время окончания акматической фазы и начала фазы надлома определяется по дате наступления первого максимума численности населения. Это должно произойти в 2022 г. В последующие 55 лет численность населения снизится с 5,81 млрд до 0,54 млрд за счет экстремально большой смертности и низкой рождаемости. Это глубочайший демографический кризис.

С целью улучшения качества жизни населения и предотвращения демографического кризиса основные фонды экономики в фазе надлома возрастут от $1,1 \cdot 10^{10}$ единиц капитала в 2022 г. до $1,26 \cdot 10^{10}$ в 2040 г. Резко возрастает доля сельскохозяйственного капитала – с 0,37 в 2022 г. до 0,72 в 2050 г. Интенсификация экономического развития приведет к катастрофическому росту загрязнения природной среды. К 2054 г. она достигнет $1,8 \cdot 10^{11}$ единиц загрязнения. Это почти в 1000 раз больше, чем было в 1900 г.

Принятые экономические меры не остановят депопуляционный процесс. Дефицит трудовых ресурсов приведет к рецессивному, а затем и депрессивному развитию экономики. К концу фазы надлома мировой капитал снизится до $0,88 \cdot 10^{10}$ единиц капитала, то есть на 30% по отношению к своему максимуму. Доля сельскохозяйственного капитала снизится до 0,36, то есть в 2 раза по отношению к максимуму.

Инерциальная фаза

По Л.И. Гумилеву в инерциальной фазе численность населения вновь возрастает. В процессе генетического дрейфа растет и число пассионариев. Пассионарное напряжение в системе повышается. Для инерциальной фазы характерно укрепление государственной власти и социальных институтов. Происходит интенсивное накопление материальных и культурных ценностей, активное преобразование окружающего ландшафта. Господствующим типом личности становится законопослушный, работоспособный человек. Труд воспринимается людьми не как обуза, а как необходимое условие достаточной жизни. Этнос производит огромную работу, которая полезна для экономики и культуры.

К этой характеристике инерциальной фазы, данной Л.Н. Гумилевым на основании анализа прошлого, так и хочется добавить взгляд В.В. Оленьева и М.П. Федорова в будущее: «Задачу создания управляемого, жизнеспособного мироустройства можно решить лишь на основе управляемой, плановой социально-экономической системы типа “экологического социализма”» [21]. В теории этногенеза Л.Н. Гумилева одним из главных факторов, определяющих формирование

этносов, является рост производительных сил, вызывающий изменение производственных отношений, а следовательно, и организацию общества. Из закона соответствия производственных отношений уровни развития производительных сил, с одной стороны, и закона падения природно-ресурсного потенциала – с другой, следует, что «эколого-социально-экономическое развитие (социоэкологической системы) подчиняется динамической формуле [24]: (Природно-ресурсный потенциал) \leftrightarrow (Производительные силы) \leftrightarrow (Производственные отношения)».

При прекращении экономического роста (глубокой депрессии в фазе надлома) рыночная экономика становится ненужной. Капиталистический способ производства, основанный на достижении максимальной прибыли при минимальных затратах, чаще всего работает за счет разрушения биосферы и становится опасным для человечества.

По данным моделирования, время окончания фазы надлома и начала инерциальной фазы определяется по дате наступления первого минимума численности населения (2075 г.; 0,54 млрд человек). В последующие годы численность населения возрастает за счет снижения смертности и увеличения рождаемости. Основные фонды экономики после непродолжительного снижения (до $7,52 \cdot 10^9$ единиц капитала в 2097 г.) вновь возрастают. Доля основных фондов сельского хозяйства после существенного снижения (до 0,07 в 2095 г.) вновь повышается. Загрязнение природной среды снижается в 2097 г. до $1,22 \cdot 10^{10}$ единиц загрязнения, а затем начнет плавно повышаться.

Если гипотеза о связи фаз этногенеза с циклическим развитием цивилизации справедлива, то переход к логистической модели роста численности населения должен произойти без экономических, социальных и экологических потрясений. Негативный опыт фазы надлома и смена преобладающего типа личности от субпассионариев к гармоничным людям в инерциальной фазе будет способствовать регулированию рождаемости до уровня, обеспечивающего простое воспроизводство населения.

ВЫВОДЫ

Сценарии, реализованные на модели глобального развития «Мир-2МС», позволяют сделать следующие заключения, имеющие не прогностический характер, а указывающие лишь на тенденции развития цивилизации.

1. В XXI в. цивилизацию ожидает не катастрофа, как это предсказывают глобальные модели развития «Мир-2» и «Мир-3», а экстремально глубокие демографический, экономический и экологический кризисы, после которых последует восстановление. Менее глубокие и имеющие другой генезис региональные кризисы не раз встречались в истории человечества.

2. Потенциально, развитие цивилизации в третьем тысячелетии должно иметь циклический характер. Число циклов должно увеличиваться пропорционально энерговооруженности цивилизации. Каждый цикл оканчивается кризисом цивилизации. При ресурсно-энергетическом потенциале, ограниченном запасами традиционного ископаемого топлива (нефть + газ + уголь), ожидается 3–4 цикла развития; при расширении потенциала за счет сланцевой нефти – до 15 циклов, вслед за которыми цивилизация переходит к стационарному (по Ляпунову) движению компонент.

3. При широком использовании энергии управляемого термоядерного синтеза число циклов неограниченно возрастает, и Мировая система переходит в режим гармонического осциллятора, совершая колебания компонент относительно состояний равновесия.

4. Человечество является экологической доминантой биосферы в границах одного отдельно взятого цикла развития Мировой системы. Капитал, продовольствие и загрязнение природной среды, являющиеся продуктами социально-экономического метаболизма человечества и зависящие от текущих запасов энергетических ресурсов, лимитируют численность населения в пределах одного цикла развития, но не определяют число циклов.

5. В пяти модельных сценариях, отличающихся различными запасами топливных ресурсов, численность стационарного движения населения, к которому переходит система после заключительного цикла, изменяется в пределах 1,3–1,6 млрд человек. Численность населения, соответствующая однопроцентному порогу потребления первичной продукции, обеспечивающему устойчивость биосферы, составляет 1,7 млрд человек. Таковую же расчетную численность (1,63 млрд) способна поддерживать биосфера в сценарии с полной

рекультивацией современных сельскохозяйственных земель. Таким образом, порог насыщения численности популяции, к которому асимптотически стремится логистическая кривая численности населения, может быть принят в интервале 1,3–1,7 млрд человек.

6. Расчеты показали, что восстановление экологических систем на сельскохозяйственных угодьях и урбанизированных территориях, предлагаемое авторами биосферной концепции устойчивого развития в качестве временной альтернативы сокращению численности населения, невозможно без пропорционального и синхронного сокращения численности. Способ восстановления экосистем авторами концепции обсуждается, а способ сокращения численности населения – нет.

7. Циклическое движение населения планеты формально обусловлено спиралевидной формой зависимости коэффициента прироста от численности населения, известной в популяционной экологии под названием кривой типа Олли. Эта кривая объясняет существование нескольких устойчивых и неустойчивых локально-стационарных состояний циклического движения населения. Устойчивые состояния обеспечивают возможность ускоренного перехода к стационарному движению цивилизации.

8. Переход от циклического к стационарному движению должен осуществляться из устойчивого локально-стационарного состояния по логистической модели роста численности популяции с порогом насыщения численности, равным 1,5 млрд человек.

9. «Безболезненный» переход возможен, по-видимому, только после формирования глобальной гиперэтнической системы с общей ментальностью населения, то есть особенностями психического склада и мировоззрения людей, живущих в управляемой, плановой социально-экономической системе типа «экологического социализма».

Литература

Список русскоязычной литературы.

1. Акаев АА, Яковец ЮВ, Соколов НВ, Сарыгулов АН. Прогнозные расчеты динамики цивилизации на базе логистической модели. В кн.: Будущее цивилизации и стратегия цивилизационного партнерства. Яковец ЮВ, Кузыка БН, Бектурганов НС, редакторы. М.: МИСК; 2009. с. 496-527.
2. Араб-Оглы ЭА. Демографические и экологические прогнозы. М.: Статистика; 1978.
3. Белозерский ГН, Вуглинский ВС, Лавров СБ, Ласточкин АН, Морачевский ВГ, Петров КМ, Селиверстов ЮП, Сергеев ЮН, Смирнов ЛЕ, Фукс ВР. Основы геоэкологии. Учебник. СПб.: Изд-во СПбГУ; 1994.
4. Беляев ВС. Теория сложных геосистем. Киев: Наукова думка; 1978.
5. Бигон М, Харпер Дж, Таунсенд К. Экология особи, популяции и сообщества. Т. 1. Гиляров ЛМ, редактор. М.: Мир; 1989.

6. Введенский БА, редактор. Питание. В кн.: Большая советская энциклопедия. Т. 33. М.: БСЭ; 1955.
 7. Вернадский ВИ. Биосфера. Т. 5. М.: Наука; 1960.
 8. Горшков ВГ. Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды. М.: ВИНТИ; 1990.
 9. Гумилев ЛН. Этносфера. История людей и история природы. М.: Экопрос; 1993.
 10. Дадаян ВС. Орбиты планетарной экономики. М.: Наука; 1989.
 11. Егоров ВА, Каллистратов ЮН, Митрофанов ВБ, Пионтковский АА. Математические модели глобального развития. Л.: Гидрометеиздат; 1980.
 12. Клейн ЛР. Проект ЛИНК. Экономика и математические методы. 1977;13 (3):471-92.
 13. Кондратьев КЯ. Глобальная экодинамика и ее тенденции. В кн.: Экодинамика и экологический мониторинг Санкт-Петербургского региона в контексте глобальных изменений. СПб.: Наука; 1996. с. 5-60.
 14. Лавров СБ, Сдасюк ГВ. Этот контрастный мир. М.: Мысль; 1985.
 15. Матросов ВМ, Матросова ИВ. Глобальное моделирование с учетом динамики биомассы и сценарии устойчивого развития. В кн.: Новая парадигма развития России. (Комплексные исследования проблем устойчивого развития). М.: Academia; 1999. с. 18-24.
 16. Матросова КВ. Устойчивое развитие в модифицированной математической модели «Мировая динамика». В кн.: Новая парадигма развития России. (Комплексные исследования проблем устойчивого развития). М.: Academia. МГУК; 1999. с. 344-53.
 17. Махов СА. Математическое моделирование мировой динамики и устойчивого развития на примере модели Форрестера. М.: ИПМ РАН; 2005.
 18. Мовчан ВН. Экология человека. Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ; 2004.
 19. Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР). Наше общее будущее. М.: Прогресс; 1987.
 20. Одум Ю. Основы экологии. Перевод с английского. Наумов НП, редактор. М.: Мир; 1975.
 21. Оленьев ВВ, Федоров АП. Глобалистика на пороге XXI века. Вопр философии. 2003;(5):18-30.
 22. Осипов ГВ, Лисичкин ВА. Глобальные модели развития человечества. Учебное пособие. Садовничий ВА, редактор. М.: НормаИнфра; 2015.
 23. Рамад Ф. Основы прикладной экологии. Л.: Гидрометеиздат; 1989.
 24. Реймерс НФ. Природопользование. М.: Мысль; 1990.
 25. Свирижев ЮМ, Логофет ДО. Устойчивость биологических сообществ. М.: Наука; 1978.
 26. Сергеев ЮН. Моделирование экологических систем. В кн.: Основы геоэкологии. Учебник. Морачевский ВГ, редактор. СПб.: Изд-во СПбГУ; 1994.
 27. Сергеев ЮН. Прогнозные сценарии развития социально-экологической системы на территории бывшего СССР. Вестн СПбГУ сер 7. 1998; (4):17-26.
 28. Сергеев ЮН. Концепции и модели устойчивого развития цивилизации. Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбУ; 2007.
 29. Сергеев ЮН, Кулеш ВП. Концепция циклического развития цивилизации. Вестн СПбГУ сер 7. 2013;(2):57-70.
 30. Сергеев ЮН, Кулеш ВП. Глобальный этногенез и циклическое развитие цивилизации. Вестн СПбГУ сер 7. 2013;(4):80-97.
 31. Скиннер Б. Хватит ли человечеству земных ресурсов? М.: Мир; 1989.
 32. Форрестер Дж. Мировая динамика. М.: Наука; 1978.
- Общий список литературы/Reference List**
1. Akayev AA, Yakovets YuV, Sokolov NV, Sarygulov AN. [Forecasting calculations of civilization dynamics based on a logistic model]. In: Budushcheye Tsivilizatsii i Stratyegiya Tsivilizatsionnogo Partnerstva. Yakovets YuV, Kuzyka BN, Byekturganov NS, eds. Moscow: MISK; 2009. p. 496-527. (In Russ.)
 2. Arab-Ogly EA. Demograficheskiye i Ekologicheskiye Prognozy. [Demographic and Ecological Forecasts]. Moscow: Statistika; 1978. (In Russ.)
 3. Belozerskiy GN, Vuglinskiy VS, Lavrov SB, Lastochkin AN, Morachevskiy VG, Petrov KM, Seliverstov YuP, Sergeev YuN, Smirnov LYe, Fuks VR. Osnovy Gyeoekologii. Ucheybnik. Saint Petersburg: SPbU; 1994. (In Russ.)
 4. Beliaev VS. Teoriya Slozhnykh Geosistem. Kiev: Naukova Dumka; 1978. (In Russ.)
 5. Bigon M, Kharper D, Taunsend K. Ekologiya Osobi, Populyatsii i Soobshcheystva. Tom 1. Moscow: Mir; 1989. (In Russ.)
 6. Vvedenskiy BA, ed. [Nutrition]. In: Bol'shaya Sovetskaya Entsiklopyediya. Tom 33. Moscow: BSE; 1955. (In Russ.)
 7. Vernadsky VI. Biosfyera. Tom 5. Moscow: Nauka; 1960. (In Russ.)
 8. Gorshkov VG. Energetika Biosfery i Ustoychivost' Sostoyaniya Okruzhayushchey Sredy. Moscow: VINITI; 1990. (In Russ.)
 9. Gumilev LN. Etnosfyera. Istoriya Lyudey i Istoriya Prirody. Moscow: Ekopros; 1993. (In Russ.)

10. Dadayan VS. *Orbity Planetarnoy Ekonomiki*. Moscow: Nauka; 1989. (In Russ.)
11. Yegorov VA, Kallistratov YuN, Mitrofanov VB, Piontkovskiy AA. *Matematicheskiye Modeli Global'nogo Razvitiya*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1980. (In Russ.)
12. Klein LR. Project LINK. *Ekonomika i Matematicheskiye Metody*; 1977;13(3):471-92. (In Russ.)
13. Kondratyev KYa. [Global ecodynamics and its tendencies]. In: *Ekodinamika i Ekologicheskii Monitoring Sankt-Peterburgskogo Regiona v Kontekste Globalnykh Izmeneniy*. Saint Petersburg: Nauka; 1996. p. 5-60. (In Russ.)
14. Lavrov SB, Sdasyuk GV. *Etot Kontrastnyy Mir*. Moskva: Mysl'; 1985. (In Russ.)
15. Matrosov VM, Matrosova IV. [Global simulation with account of dynamics of the Earth biomass and scenarios of sustainable development]. In: *Novaya Paradigma Razvitiya Rossii (Kompleksnyye Issledovaniya Problem Ustoychivogo Razvitiya)*. Moscow: Academia; 1999. p. 18-24. (In Russ.)
16. Matrosova KV. [Sustainable development in the modified model "The world Dynamics"]. In: *Novaya Paradigma Razvitiya Rossii (Kompleksnyye Issledovaniya Problem Ustoychivogo Razvitiya)*. Moscow: Academia; 1999. p. 344-53. (In Russ.)
17. Makhov SA. *Matematicheskoye Modelirovaniye Mirovoy Dinamiki i Ustoychivogo Razvitiya na Primere Modeli Forrestera*. Moscow: IPM RAN; 2005. (In Russ.)
18. Movchan VN. *Ekologiya Cheloveka Uchebnoye Posobiye*. Saint Petersburg: SPbGU; 2004. (In Russ.)
19. *Doklad Mezhdunarodnoy Komissii po Okruzhayushchey Srede i Razvitiyu (MKOSR)*. *Nashe Obshcheye Budushcheye*. Moscow: Progress; 1987. (In Russ.)
20. Odum Yu. *Osnovy Ekologii*. Moscow: Mir; 1975. (In Russ.)
21. Olenyev VV, Fedorov AP. [Globalistics on the eve of the 21st century]. *Voprosy Filosofii*. 2003;(5):18-30. (In Russ.)
22. Osipov GV, Lisichkin VA. *Globalnye Modeli Razvitiya Chelovechestva Uchebnoye Posobiye*. Moscow: NormaInfra; 2015. (In Russ.)
23. Ramad F. *Osnovy Prikladnoy Ekologii*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1989. (In Russ.)
24. Reymers NF. *Prirodopol'zovaniye*. Moscow: Mysl'; 1990. (In Russ.)
25. Svirezhev YuM, Logofet DO. *Ustoychivost' Biologicheskikh Soobshchestv*. Moscow: Nauka; 1978. (In Russ.)
26. Sergeyev YuN. [Simulation of ecological systems]. In: *Osnovy Geoekologii*. Uchebnyk. Morachevskiy VG, ed. Saint Petersburg: SPbGU; 1994. (In Russ.)
27. Sergeyev YuN. [Forecasting scenarios of the socioeconomic system of in former USSR territory]. *Vestnik SPbGU Ser 7*. 1998;(4):17-26. (In Russ.)
28. Sergeyev YuN. *Kontseptsii i Modeli Ustoychivogo Razvitiya Tsivilizatsii Uchebnoye Posobiye*. Saint Petersburg: SPbGU; 2007. (In Russ.)
29. Sergeyev YuN, Kulesh VP. [The concept of the cyclic development of civilization]. *Vestnik SPbGU Ser 7*. 2013;(2):57-70. (In Russ.)
30. Sergeyev YuN, Kulesh VP. [Global ethnogenesis and the cyclic development of civilization]. *Vestnik SPbGU Ser 7*. 2013;(4):80-97. (In Russ.)
31. Skinner B. *Khvatit li Chelovechestvu Zemnykh Resursov?* Moscow: Mir; 1989. (In Russ.)
32. Forrester Dzh. *Mirovaya Dinamika*. [World Dynamics]. Moscow: Nauka; 1978. (In Russ.)
33. Gallopin G, Gomez J. Food Sector. In: *Proc. Seminar on the Latin American World Model at IIASA*. Laxenburg, Austria; 1974.
34. Hardoy J, Mosorovich D. Urbanization and Housing. In: *Proc. Seminar on the Latin American World Model at IIASA*. Laxenburg, Austria; 1974.
35. Herrera A, Scolnik H, Homez J. World Model. In: *Proc. Seminar on the Latin American World Model at IIASA*. Laxenburg, Austria; 1974.
36. Kaya Y, Suzuki Y. *Global Constraints and New Vision for Development*. Japan Work Team of the Club of Rome. COR Tech. Sump. Tokyo; 1973.
37. Leontief W. *The Future of the World Economy*. UNO; 1976.
38. Malthus TR. *An Essay on the Principle of Population*. London: Johnson; 1798.
39. Meadows DL, Meadows DH. *Dynamics of Growth in a Finite World*. Cambridge: Mass. Wright Allen Press Inc.; 1974.
40. Mesarovic M, Pestel E. *Mankind at the Turning Point*. Second Report to the Club of Rome. N. Y.; 1974.
41. Motesharrei S, Rivas J, Kalnay E. Human and nature dynamics (HANDY): Modeling inequality and use of resources in the collapse or sustainability of societies. *Ecological Economics*. 2014;(101):90-102.
42. Scolnik H, Talavera L. The Functioning of the World and the Demographic Model. In: *Proc. Seminar on the Latin American World Model at IIASA*. Laxenburg, Austria; 1974.
43. Theimann H. Report on Battele's Activities to the Club of Rome. Tokyo, Battele, Geneva; 1973.
44. Verburg PH, Dearing JA, Dyke JG, Leeuw S, Seitzinger S, Steffen W, Syvitski J. Methods and approaches to modelling the Anthropocene. *Global Environmental Change*. 2016;(39):328-40.

ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС: ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

А.К. Бродский¹, Д.В. Сафронова²

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: ¹ a.brodsky@spbu.ru, ² dollydolly@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14.10.2016; принята к печати 12.11.2016

Проблема антропогенной трансформации биосферы рассмотрена с точки зрения разрушения биоразнообразия. Поскольку в основе устойчивости биосферы лежит биотическая регуляция круговорота веществ, именно биологическое разнообразие обеспечивает компонентное и территориальное равновесие слагающих биосферу экосистем. Авторы прослеживают трансформацию биосферы человеком в ходе истории – от палеолита до наших дней, анализируют пути воздействия человека на природу. В процессе «преобразования природы» результатом деятельности человека стало размыкание естественных биогеохимических циклов, загрязнение и глубокая деградация окружающей среды, утрата местообитаний. При обсуждении выбора приоритетов для решения проблем выхода из глобального экологического кризиса сделан вывод, что нарастающие социальные и природные аномалии представляют собой следствие нашего неверного поведения, в основе которого, помимо социальных, экономических и иных причин, лежит недооценка того значения, которое биоразнообразию играет в нашей жизни.

Ключевые слова: разрушение биоразнообразия, глобальный экологический кризис, трансформация биосферы, динамическая устойчивость биосферы, утрата местообитаний.

THE GLOBAL ECOLOGICAL CRISIS: VIEW THROUGH THE PRISM OF BIODIVERSITY

A.K. Brodsky¹, D.V. Safronova²

Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

E-mail: ¹ a.brodsky@spbu.ru, ² dollydolly@mail.ru

The problem of anthropogenic transformation of the biosphere is discussed from the standpoint of deterioration of biodiversity. As far as the stability of the biosphere is based on the biotic regulation of the turnover of its components, biodiversity is what ensures the compositional and territorial balances of ecosystems that compose the biosphere. The anthropogenic development of Nature resulted in the disruption of the natural biogeochemical cycles, pollution and profound degradation of the environment, and the loss of habitats for biological species. The discussion of priorities for finding the ways out of the current ecological crisis suggests that the looming social and natural anomalies are rooted in the improper behavior of humans caused by social and economic misconceptions and the underestimation of the significance of biodiversity for the human race.

Keywords: global ecological crisis, biodiversity, biosphere, dynamic stability, habitats.

Введение

Обсуждая проблемы биосферного равновесия, политики и журналисты рассматривают биосферу, прежде всего, как среду существования человека, фокусируя внимание на абиотических параметрах среды – показателях климата, концентрации парниковых газов, уровнях загрязнения среды и др. Процессы, происходящие в живой природе, при этом отодвигаются на задний план. Однако условия, в которых может жить человек, созданы и поддерживаются непрерывной работой живой природы, которая, по сути, является биосферной системой жизнеобеспечения человечества.

Среди многочисленных публикаций, посвященных анализу проблем развития и деградации биосферы [4, 7, 14, 16, 17, 25], вопросы о причинах и последстви-

ях глобального экологического кризиса рассматриваются с самых разных позиций. В настоящей статье основное внимание уделено разрушению биоразнообразия.

Суммируя информацию об угрозе разрушения равновесия биосферы, проследим цепочку событий, ведущих биосферу в этом направлении: рост населения → интенсификация природопользования → нарушение биогеохимических циклов → загрязнение среды (+ изменение лика планеты) → **утрата местообитаний** → **разрушение биоразнообразия** → деградация экосистем → нарушение территориального и компонентного равновесия биосферы → угроза существованию человечества.

1. ИСТОРИЯ: ОТ ЗАГОННО-ОБЛАВНОЙ ОХОТЫ К ЗЕМЛЕДЕЛИЮ И СКОТОВОДСТВУ

Первое серьезное воздействие человека на биосферу было связано с изобретением загонно-облавной охоты в палеолите. Человек перешел от собирательства к охоте в засаде, что дало ему возможность охотиться на животных, значительно более крупных, чем он сам. Уничтожены были мамонты, пещерный лев и пещерная гиена. Исчез пещерный медведь, вдвое превышавший размером бурого медведя. Этот вид был приручен к карстовым ландшафтам и стал не только конкурентом человека по использованию убежищ, но и важным объектом охоты. Массовому уничтожению подверглись зубры.

Изобретение лука и стрел в мезолите способствовало расширению числа охотничьих видов, привело к возникновению новых форм охоты с использованием собак при загоне. Расселившийся по Ойкумене человек продолжал наступление на природу. Одной из первых жертв береговых поселений зверобоев на тихоокеанском побережье Америки и Алеутских островов стала морская корова (*Hydrodamalus stelleri*).

Главным событием эпохи неолита была так называемая неолитическая революция – переход от собирательства и охоты к растениеводству, связанному с окультуриванием растений, и животноводству, связанному с одомашниванием животных. Крупнейшим экологическим результатом неолитического скотоводства стало возникновение пустыни Сахары. Еще 10 тыс. лет назад на территории Сахары была саванна, жили бегемоты, жирафы, африканские слоны, страусы. Человек перевыпасом стад крупного рогатого скота и овец превратил саванну в пустыню.

В отличие от предшествующих времен, человек стал не только потреблять, но и производить. Кроме появления *производящего* хозяйства неолитическая революция включала в себя ряд последствий, важных для всего образа жизни человека эпохи неолита. Небольшие мобильные группы охотников и собирателей, господствовавшие в предшествующей эпохе мезолита, осели в крупных поселениях возле своих полей, радикально изменили окружающую среду путем культивирования (в том числе ирригации) и хранения собранного урожая в специально возведенных зданиях и сооружениях. Рост числа ирригационных каналов при поливном земледелии сопровождался засолением почв и способствовал развитию глинистых и солончаковых пустынь на залежных землях.

Фактически, события, предшествовавшие неолитической революции, представляют собой пример первого глобального (в масштабах тогдашней Ойкумены) кризиса, когда численно растущее население уничтожило большинство доступных для добычи и охоты пищевых ресурсов. Решение, найденное в про-

цессе неолитической революции, заложило основы для нового кризиса, выразившегося в упадке орошаемого земледелия вследствие вторичного засоления и заболачивания орошаемых почв. И каждый раз в ходе региональных кризисов человек имел возможность искать и находить более подходящие для своего существования условия, например, перемещаясь на другие территории. Так произошло массовое заселение Европы.

Принципиальное отличие современного глобального кризиса от региональных состоит в том, что возможность освоения новых территорий практически отсутствует, особенно если учесть огромную численность современной человеческой популяции, уже занявшей почти все доступные места на планете. Кроме того, для глобального кризиса характерна еще одна особенность – чрезвычайно быстрая деградация жизнеобеспечивающих механизмов всей биосферы. Развитие человеческих цивилизаций на планете кардинально изменило эволюционно сложившиеся круговороты веществ, потоки энергии и информации в биосфере. Рассмотрим этапы и особенности этого процесса.

2. ПУТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ПРИРОДУ

До последних нескольких сотен лет рост численности населения был относительно медленным, уровень рождаемости лишь слегка превышал уровень смертности. Самое большое давление на природные комплексы произошло за последние 150 лет, когда население Земли выросло от 1 млрд человек в 1850 г. до 2 млрд человек в 1930 г., а на 12 октября 1998 г. составило 6 млрд человек. По оценочным прогнозам, к 2050 г. оно достигнет 10 млрд человек [22]. Без серьезных препятствий численность населения планеты продолжает расти экспоненциально, но неравномерно в разных странах. В индустриально развитых странах рост населения замедлился, но во многих регионах тропической Африки, Латинской Америки и Азии – регионах с наибольшим биологическим разнообразием – он по-прежнему высок. Кроме того, статистические данные показывают зависимость между доходом на душу населения и рождаемостью в разных странах мира (рис. 1).

С ростом уровня благосостояния в обществе коэффициент рождаемости постепенно снижается. В беднейших странах мира он составляет от 20 до 50 рождений на 1000 чел. в год. Ни в одной из богатых стран мира коэффициент рождаемости не превышает 20. В правой части графика четко видна зависимость между высокими доходами и низкой рождаемостью. Однако в самой левой части графика, в области минимальных доходов также четко видны исключения из этой зависимости. Например, в Китае для его уровня доходов рождаемость чрезвычайно низка. В некото-

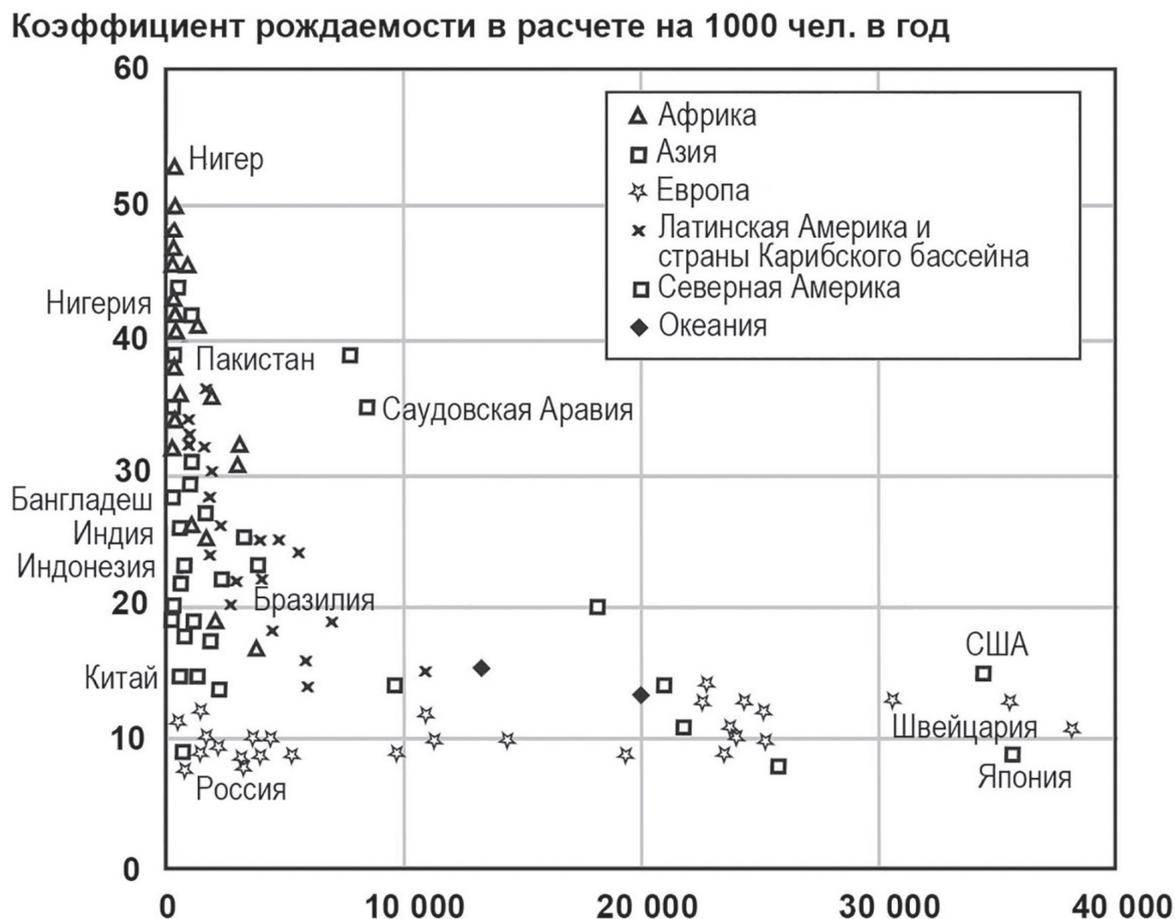


Рис. 1. Коэффициент рождаемости и валовой национальный доход на душу населения в 2001 г. По [20] с изменениями

рых странах Ближнего Востока и Африки при относительно высоких уровнях доходов наблюдается чрезвычайно высокий коэффициент рождаемости.

Техническая вооруженность позволила человеку осваивать ресурсы, малодоступные или недоступные другим видам (включая ископаемые), и, как следствие, преодолеть препятствия для роста своей численности в виде ограниченности необходимых для этого ресурсов. Воздействие человеческого общества как единого целого на природу по своему характеру резко отличается от воздействия на нее всех других живых существ. В.И. Вернадский писал: «Раньше организмы влияли на историю тех атомов, которые были нужны им для роста, размножения, питания, дыхания. Человек расширил этот круг, влияя на элементы, нужные для техники и создания цивилизованных форм жизни», что и изменило «вечный бег геохимических циклов» [5]. Первое и очевидное следствие природопользования – нарушение естественных биогеохимических циклов (рис. 2).

2.1. Нарушение естественных биогеохимических циклов

Солнечная энергия вызывает на Земле два круговорота веществ: большой, или геологический, ярко проявляющийся в круговороте воды и циркуляции атмосферы, и малый, или биотический. Малый круговорот развивается на основе большого геологического. Взаимодействие абиотических факторов и живых организмов экосистемы сопровождается непрерывным круговоротом веществ с переходами между органическими и минеральными соединениями.

Каждый химический элемент, совершая круговорот в экосистеме, следует по своему пути, но все круговороты приводятся в движение энергией, поочередно фиксируемой и высвобождаемой в результате жизнедеятельности растений, животных и микроорганизмов. Чтобы жизнь продолжала существовать, химические элементы должны постоянно циркулировать из внешней среды в живые организмы и обратно, переходя из одних организмов в усвояемую для других организмов форму. Вещества в экосистемах соверша-

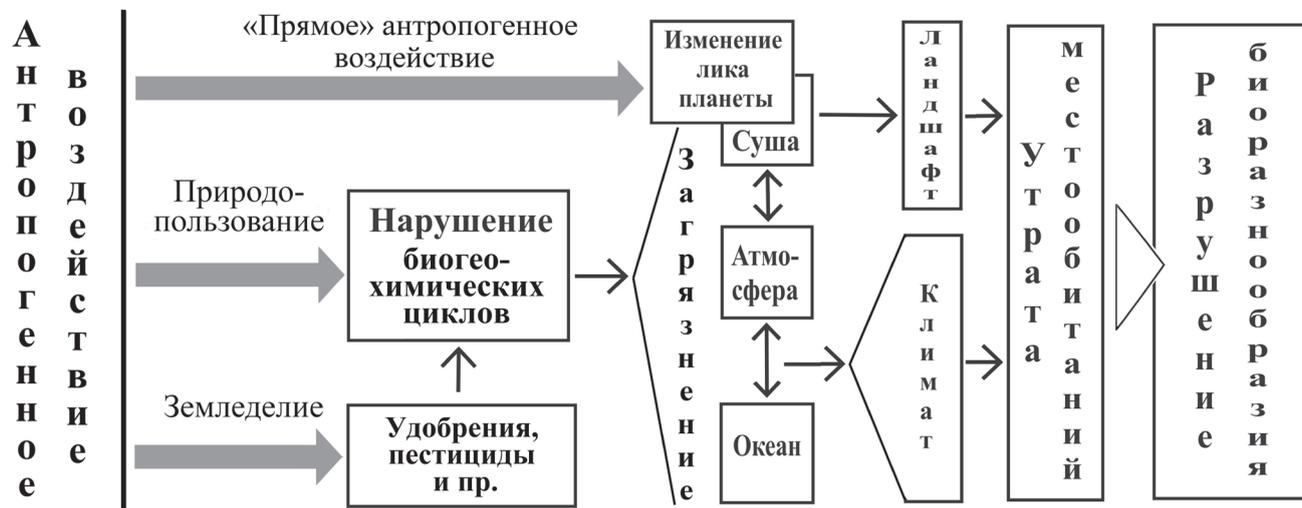


Рис. 2. Блок-схема, иллюстрирующая последовательность шагов антропогенного воздействия на биоразнообразие

ют практически полный круговорот, попадая сначала в организмы, затем в абиотическую среду и вновь возвращаясь к организмам.

Все современные цивилизации зарождаются и развиваются за счет эксплуатации природных ресурсов. В процессе производства материальных благ человек воздействует на оба круговорота – биологический и геологический. Неизбежным итогом деятельности человека по «преобразованию природы» стало изменение сложившегося веками соотношения продуцентов, консументов и редуцентов [11]. Роль в круговоротах естественных продуцентов существенно снизилась в результате вырубки лесов, прокладки дорог и иных элементов инфраструктуры. Распашка и «запечатывание» почвы негативно сказались на участии редуцентов в замыкании биогеохимических циклов. Параллельно с этими процессами происходит резкое увеличение массы консументов (рост биомассы человечества – около 7 млрд человек плюс несколько миллиардов сельскохозяйственных и домашних животных).

Вовлекая сырье и ископаемые виды топлива в процесс производства материальных благ, человек тем самым оказывает серьезное влияние и на геологический круговорот. До определенной поры интенсивность использования природных ресурсов обеспечивала быстрый рост населения, но истощение ресурсов ставит вопросы о рационализации их использования и о необходимости их воспроизводства (рис. 3). С биоэкономических позиций, в воспроизводстве природных ресурсов можно выделить несколько аспектов. Во-первых, это «чистое» воспроизводство, в котором находит выражение экономический аспект охраны

природы – угроза истощения важных природных ресурсов. Во-вторых, это «подметание полов» за техническим прогрессом – борьба с загрязнениями, в котором находит выражение не только экономический, но и санитарно-гигиенический аспект охраны природы – угроза здоровью людей вследствие загрязнения среды. В-третьих, это пока еще недооцененное, но основное в будущем для человечества в целом воспроизводство экологических ресурсов и условий, обеспечивающее экологическое равновесие. Здесь находит выражение экологический аспект охраны природы. Речь в данном случае идет о воспроизводстве ресурсов, не входящих в вещественный состав создаваемого продукта и непосредственно не используемых в процессе производства, но лишь при условии существования которых и во взаимодействии с которыми возможно создание материальных благ и развитие человечества. Этот компонент природопользования необходимо учитывать при обсуждении возможных путей выхода из глобального экологического кризиса. Речь об этом пойдет в заключении.

Следует, однако, признать, что в настоящее время потребности в ресурсах значительно опережают попытки направить часть этих ресурсов на их воспроизводство. Углеродное сырье по-прежнему остается абсолютным лидером среди источников энергии, используемых цивилизацией: в настоящее время оно обеспечивает примерно 4/5 всей энергии, потребляемой человечеством [10]. Экспоненциальный рост мировой экономики ведет к истощению физических возможностей биосферы, происходят изменения в составе и структуре воды и воздуха, все чаще мы становимся свидетелями чрезвычайных техногенных ситуаций.

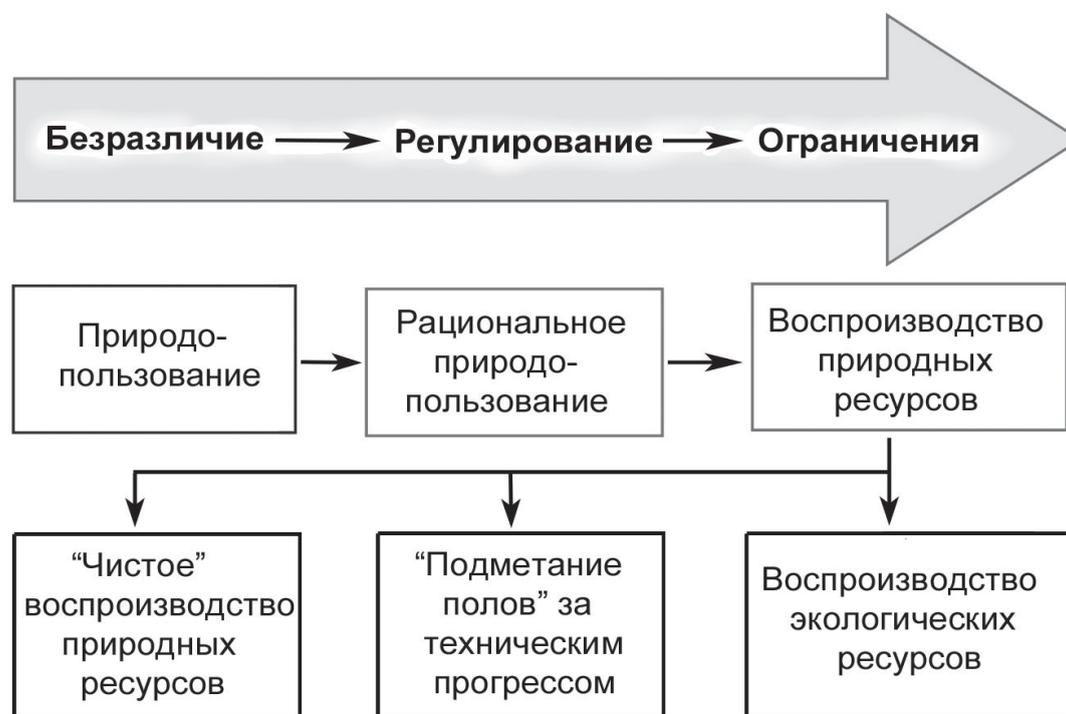


Рис. 3. Смена форм природопользования как реакция на размыкание биогеохимических циклов и истощение ресурсов

Среди различных форм землепользования (сельское и лесное хозяйство, транспортная инфраструктура, энергетика, туризм, охрана природы) наибольшее разрушающее влияние на природу оказывает сельское хозяйство (рис. 2). В упрощенной обедненной видами системе, характерной для современного монокультурного сельского хозяйства, продуценты, консументы и редуценты не могут обеспечить полноту замыкания биогеохимических циклов, что вынуждает привлекать дополнительные источники энергии и ресурсов. Вот как это происходит.

Урожай в общепринятом смысле, то есть чистую первичную продукцию, не потребленную гетеротрофами за вегетационный период, можно представить в следующем виде:

$$B = P_G - R - (P_2 + P_3 + \dots),$$

где P_G – валовая первичная продукция; R – затраты на дыхание растений; P_2, P_3, \dots – вторичная продукция. Графическая модель урожая (рис. 4) учитывает неизбежность экологических потерь в ответ на сокращение расходов, связанных с получением урожая; в ней подчеркнута обратная пропорциональная зависимость между двумя составляющими урожая: экономическими тратами и экологическими потерями. С целью получить как можно больший выход полез-

ной продукции человек стремится воздействовать на каждый из членов этого уравнения. Для увеличения валовой первичной продукции (P_G) необходима селекционная работа, выведение новых высокопродуктивных сортов растений. Данный путь требует высокого научного потенциала и длительного времени, но с экологической точки зрения он наименее опасен. Для того чтобы компенсировать затраты растений на дыхание (R), человек вкладывает энергию в форме работы сельскохозяйственных машин и в виде производства удобрений. Применение удобрений и использование сельскохозяйственной техники неизбежно вызывает загрязнение и другие нарушения среды. Наконец, нежелание делиться урожаем с природными «потребителями» вынуждает человека использовать различные ядохимикаты, загрязняющие и разрушающие среду. Данный путь не требует больших экономических затрат, или, по крайней мере, они вполне доступны даже экономически слабым странам. Однако с точки зрения экологических последствий он связан с наибольшими издержками, так как борьба с насекомыми, вредящими сельскому хозяйству, не только вызывает загрязнение среды пестицидами, но и уменьшает видовое разнообразие и, следовательно, снижает устойчивость агроценозов.

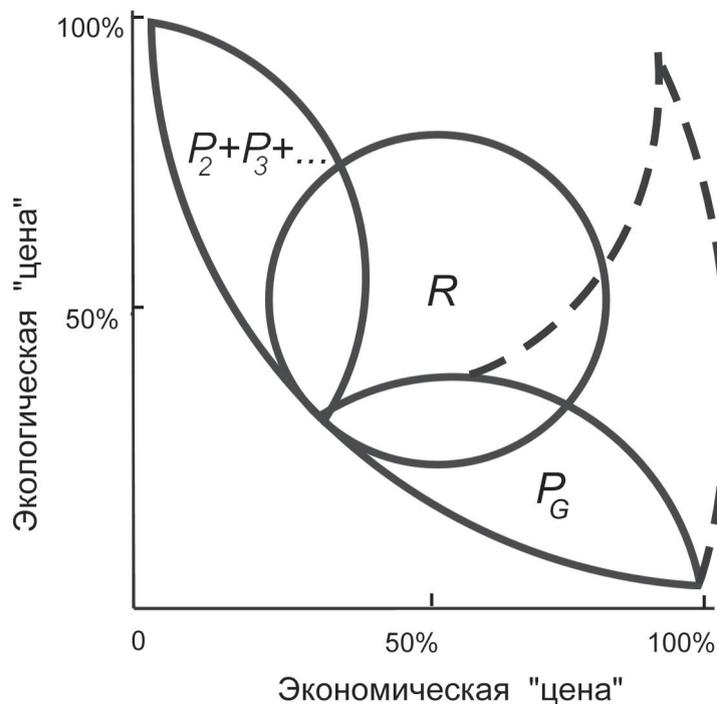


Рис. 4. Соотношение экономических затрат и экологического ущерба при различных вариантах повышения урожая. Площадь, ограниченная пунктирной линией, соответствует потенциально возможному ущербу вследствие «генетического загрязнения» среды

Для получения все большего количества сельскохозяйственной продукции человек опережающими темпами вносит в землю продукты сельскохозяйственной химии. Уже сегодня в ряде сельскохозяйственных районов в таких аграрно-развитых странах, как США, Голландия и Канада, почвы, по существу, мертвы и способны давать сельскохозяйственную продукцию лишь при использовании генетически модифицированных растений. Не удивительно, что площади, занятые генетически модифицированными зерновыми, возросли с 1996 по 2001 г. почти в 50 раз [12]. Как отмечает автор популярной в 70-х гг. прошлого столетия книги «Бомба перенаселения» П. Эрлих, «пытаясь прокормить растущее число себе подобных, мы подвергаем опасности саму способность Земли вообще поддерживать какую-либо жизнь» [27].

2.2. Антропогенное загрязнение биосферы

Первое и неизбежное следствие нарушения биогеохимических циклов – загрязнение среды (рис. 2). Сырье и энергию, используемые населением и в производстве, человек берет у планеты. А затем все это не исчезает – после того, как потоки использованы в экономической деятельности, остатки сырья идут на пере-

работку или превращаются в отходы и загрязнители, а энергия рассеивается в виде тепла в окружающую среду. Потоки вещества и энергии, проистекающие из планетарных источников, проходят через экономическую подсистему и направляются в планетарные стоки, где и остаются в виде отходов или загрязнителей (рис. 5).

Влияние загрязнения на свойства биосферы изучено, пожалуй, лучше всего с тех пор, как внимание мировой общественности к опасности, исходящей от пестицидов, было привлечено в 1962 г. нашумевшей книгой Р. Карсон «Молчаливая весна» [26]. Слово «загрязнение» стало обыденным; оно наводит на мысли об отравленной воде, воздухе, земле. Загрязнение можно определить как поступление любых веществ в неполюженное место. Значит, принося пользу в одном месте, они вызывают загрязнение, когда выбрасываются или поступают туда, где никому не нужны, и могут нанести ущерб окружающей среде или здоровью человека.

Различают несколько видов загрязнений; два из них являются основными. В-первых, это *химическое загрязнение*, которое определяется появлением в биосфере благодаря деятельности человека несвойственных ей химических веществ или известных химических веществ в необычно большом количестве и в чуждых природе формах. Во-вторых, это *физи-*



Рис. 5. Население и капитал в глобальной экосистеме. По [20].

Население и капитал поддерживают свое существование за счет потоков ископаемых видов топлива и невозобновляемых ресурсов планеты и производят потоки тепла и отходов, загрязняющих воздух, воду и почву на планете

ческое загрязнение, вызванное растущей плотностью электромагнитных полей (сотовая и радиосвязь, телевидение, радиолокация, токи высокой и сверхвысокой частот, инфракрасное, световое и тепловое загрязнение и др.), ионизирующего излучения, а также загрязнением атмосферы взвешенными мелкими (меньше 10 мкм) пылевидными частицами и сажей.

С термином «загрязнение» нередко ассоциируют еще два понятия: биологическое загрязнение и генетическое загрязнение. К первому относят процессы, связанные с загрязнением биосферы патогенными формами бактерий, грибов, вирусов и их токсинами, а также появление в экосистемах чуждых организмов в результате намеренной или случайной инвазии. В качестве генетического загрязнения рассматривают последствия быстрого накопления в природе генетически модифицированных растений и животных.

Загрязнения окружающей среды можно также подразделить на природные, вызванные естественными, обычно катастрофическими причинами (извержение вулкана, селовой поток и т. п.), и антропогенные, возникающие в результате деятельности людей. Загрязнение окружающей среды отрицательно влияет на свойства биосферы, однако конкретные механизмы этого влияния различны и зависят от того, какая среда – воздух, вода или почва – загрязнена.

В первую очередь внимание привлекает загрязнение воздушного бассейна. Долговременные наблюдения показывают, что за последние 20 лет сжигание топлива дает $\frac{3}{4}$ роста концентрации CO_2 , а $\frac{1}{4}$ приходится на сведение лесов и деградацию земель. С 1800-х по 2000-е гг. в атмосферу было выброшено 270 млрд тонн углерода, а содержание CO_2 в атмосфере в последние годы возрастает на 0,5% ежегодно [13].

Такие виды промышленности, как металлургическая, а также работающие на угле и мазуте электростанции выбрасывают в воздух огромное количество оксидов азота и серы, где они взаимодействуют с влагой атмосферы и образуют азотную и серную кислоты. Кислотные дожди – причина разрушения водных экосистем и гибели многих видов животных и растений. Наряду с гибелью озер происходит и деградация лесов. Замедление роста и гибель некоторых видов деревьев наблюдается во многих районах, страдающих от кислотных дождей. Эти осадки вместе с другими загрязнителями, по-видимому, создают стресс, не выдерживаемый лесной экосистемой. Подкисление озер и рек достаточно сильно влияет и на сухопутных животных, так как многие птицы и звери составляют звенья в составе пищевых цепей, начинающихся в водных экосистемах.

Не меньшую опасность представляет загрязнение почв. Продукт ядерного распада стронций-90, постоянно накапливающийся в атмосфере и выпадающий на землю с атмосферными осадками, легко поглощается листьями и корнями растений и в конце пищевой цепи вместе с кальцием откладывается в костях позвоночных. Из-за большого периода полураспада продолжительностью 29 лет этот опасный радионуклид долго сохраняется в растениях и почве.

Масштабная и очень сложная проблема – загрязнение Мирового океана. Ежегодно в Мировой океан со сточными водами поступает до 320 млн тонн соединений железа, 22 млн тонн фосфора, 2,3 млн тонн свинца, до 10 млн тонн нефтепродуктов и до 10 млн тонн пластикового мусора [25]. В некоторых акваториях масса пластикового мусора, находящегося на поверхности и в толще воды (мусорные поля), содержащие до 14 тыс. плавающих кусков пластикового мусора на 1 км², кратно выше биомассы планктона. К 2014 г. число «мертвых зон» – акваторий с погибшим бентосом и планктоном в результате выноса токсических веществ с суши, – достигло 600, и это число растет.

2.3. Антропогенное изменение лика планеты

Помимо вольного или невольного нарушения биогеохимических циклов человек в процессе природопользования оказывает прямое воздействие на природу (рис. 2): регулирует сток рек, создает водохранилища, возводит города, строит дороги. Так, по оценкам ООН, около 30% поверхности суши подверглось экологической деградации вследствие деятельности человека (опустынивание, обезлесивание, эрозия, «запечатывание» почв – использование поверхности планеты для 65 млн км автодорог, 1,5 млн км железных дорог, 30 тыс. аэропортов, 2,5 млн городов и пр.), а около 60% экосистем суши существенно нарушены.

Процент покрытия суши основными типами местообитаний сегодня разительно отличается от того, каким он был 8000 лет назад. Площадь лесов сократилась, приблизительно, в половину. Что касается оставшихся лесов, то только половину их можно рассматривать как «относительно нетронутые, крупные природные неповрежденные лесные экосистемы», и только 60% из них не находятся под угрозой исчезновения. Таким образом, площадь естественных лесных экосистем, не находящихся под угрозой исчезновения, снизилась с 62 млн км² до всего лишь 8,4 млн км² в наши дни (рис. 6). Значительная часть оставшихся лесов – это бореальные (северные) леса России и Северной Америки, а также тропические леса Южной Америки. Немного тропических лесов осталось в Южной Азии (в основном в Индонезии) и Африке (в основном в Демократической Республике Конго). Около половины современных лесов составляют тропические леса,

из которых 12% защищены, в то время как только 6% нетропических лесов оказываются защищенными.

Масштабное наступление человека на природу особенно болезненно сказывается на ней при создании инфраструктуры, обеспечивающей добычу полезных ископаемых, создание производственных комплексов и строительство городов. Нередко полное уничтожение природного ландшафта представляет собой результат непродуманного регионального пространственного планирования в процессе бесконтрольной и беспорядочной урбанизации. Фермы и природные ландшафты, окружающие города, непрерывно уступают место новым жилым кварталам, торговым центрам, промышленным предприятиям, автостоянкам и другим сооружениям, связанным между собой новыми автомагистралями. Их безудержный рост допускается и поощряется как показатель сильной экономики. Однако слишком часто он происходит без всякого плана и никак не регулируется.

Интенсивное промышленное освоение районов Крайнего Севера началось сравнительно недавно – в середине XX в., но идет ускоряющимися темпами, захватывая новые территории. Чем выше географическая широта, тем масштабнее и болезненнее раны, которые человек наносит различным элементам ландшафта. В районах нефтедобычи Западной Сибири отсутствие достаточно продуманного регионального планирования порождает глубокие негативные изменения в структуре ландшафтов. Следствием территориального размещения объектов и сооружений технологического цикла добычи, складирования и транспортировки сырой нефти стало почти полное сведение почвенного покрова, загрязнение водоемов и почвы нефтепродуктами, уничтожение лесов и загрязнения атмосферы. За этими нарушениями следует непредсказуемое изменение регионального климата. Прокладка дорог без учета наклона местности сопровождается нарушением естественного стока, заболачиванием и гибелью леса. Всюду, куда ни помотришь с борта вертолета, видны участки эродированного почвенного покрова, постройки, емкости для хранения нефти и многочисленные факелы, в которых сгорают попутный газ и легкие фракции нефти.

Среди антропогенных воздействий техногенные механические повреждения, в частности, разработка карьеров, – наиболее травмирующие, часто приводящие к полному уничтожению почвенно-растительного покрова. Площади таких техногенных местообитаний в ходе индустриального освоения Крайнего Севера постоянно увеличиваются. Внимание геоботаников приковано к изучению процесса самовосстановления растительности на обнажившемся минеральном субстрате. Их исследования показывают, что и через многие годы природа не способна вернуться к тому состоянию, из которого ее ради кратковременной выгоды вывел человек.

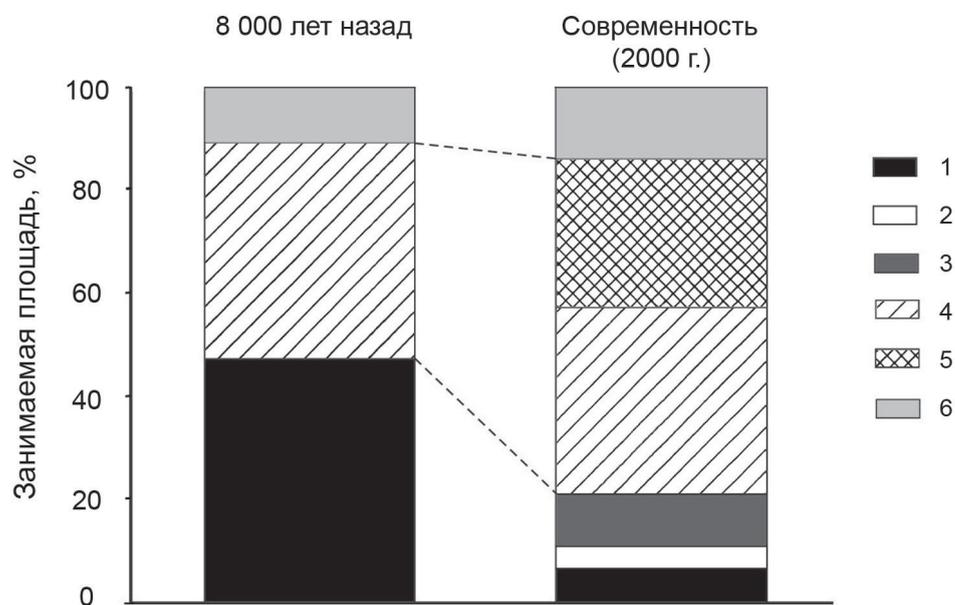


Рис. 6. Встречаемость основных местообитаний Земли около 8000 лет назад и в наши дни. Рассматриваются три основных естественных типа местообитаний – леса, луга и прочие. По [23].

В наши дни леса подразделяются на девственные, неподверженные антропогенным воздействиям; девственные, подверженные антропогенным воздействиям, и трансформированные. Луга подразделяются на луга и сельскохозяйственные угодья. 1 – неподверженные антропогенным воздействиям девственные леса; 2 – подверженные антропогенным воздействиям девственные леса; 3 – трансформированные леса; 4 – луга; 5 – сельскохозяйственные угодья; 6 – другие ландшафты

По мере прогресса в исследованиях антропогенного воздействия на экосистемы высоких широт все более очевидной становится необходимость внимательного отношения к неизбежным экологическим последствиям создания инфраструктуры с учетом того факта, что глубина и масштаб негативных изменений возрастают с географической широтой, а длительность сохранения негативных последствий антропогенного воздействия становится по существу бесконечной. Подобные данные предостерегают от вмешательства человека в хрупкие экосистемы арктических широт – никакие, пусть самые обширные, запасы энергоресурсов, их добыча, сопровождаемая развитием инфраструктуры, не смогут в будущем компенсировать огромные по масштабу и глубине экологические нарушения.

2.4. Изменение геохимии ландшафтов

Ключевое слово при обсуждении проблем, связанных с нарушением биогеохимических циклов, – скорость. Стоит потоку веществ замедлиться на каком-то из этапов, как мы сталкиваемся либо с загрязнением, вызванным избыточным количеством данного вещества, либо с его недостатком. Во втором случае такое вещество начинает играть лимитирующую роль,

что заставляет человека компенсировать его нехватку, прибегая к другим источникам и ресурсам. В итоге вещества, ранее сконцентрированные в каком-то одном месте, расплываются и разносятся по большим площадям – меняется геохимия ландшафтов. Значительную роль в нарушении геохимии ландшафтов играет также освоение новых ресурсов, малодоступных или недоступных редуцентам из-за их неспособности утилизировать искусственную антропогенную продукцию. Все это сказывается на загрязнении не только урбанизированных и сельскохозяйственных территорий, но и соседних с ними территорий естественных экосистем.

Важный источник изменения геохимии ландшафтов – широкое использование человеком минеральных ресурсов, ранее практически недоступных для живых организмов. Так, масштабная антропогенная фиксации азота в форме минеральных удобрений превысила уровень естественной фиксации азота растениями и микроорганизмами. Концентрация соединений фосфора в пресноводных водоемах мира, поступающих туда в основном в форме поверхностно активных веществ, увеличилась за последние 50 лет на 75%.

Разрушения, связанные с попытками преобразования ландшафта, особенно болезненно сказываются на природных комплексах в сочетании с загрязнени-

ем среды (рис. 2). Нарушение геохимических циклов происходит не только за счет выбросов в атмосферу и сбросов в гидро- и литосферу. При сжигании угля, сланцев, нефти и газа в среду в огромных количествах поступают десятки химических элементов и соединений (включая тяжелые металлы, углерод, азот, серу, йод). Вместе с минеральными удобрениями в среду поступает большое количество различных токсичных химических элементов (включая кадмий, мышьяк, медь, свинец, ртуть, цинк), оказывающих негативное воздействие на биоту и человека. Обширные геохимические аномалии создаются при орошении и мелиорации: с поливными и дренажными водами на дневную поверхность ежегодно поступают миллионы тонн различных солей, которые резко изменяют геохимическую обстановку больших территорий [15]. Обширные геохимические аномалии возникают вокруг добывающих минеральное сырье предприятий (хвостохранилища, терриконы, горные отвалы).

Человек действительно меняет лик планеты: перемещает минеральные вещества в масштабах, сопоставимых с природными (ежегодно из геосферы извлекается более 100 млрд тонн минеральных веществ, из которых 97–98% превращается в отходы), регулирует сток половины речных систем планеты. Общая площадь 60 тыс. водохранилищ мира превышает 1 млн км² (0,7% суши). При этом ежегодно сооружается еще около 500 новых водохранилищ. Создание водохранилищ уже изменило природу прилегающих территорий на площади не менее 1,5% территории суши.

2.5. Антропогенное изменение климата

Одно из проявлений глобального экологического кризиса – антропогенное изменение климата (рис. 2). В истории Земли были периоды, когда планета была покрыта ледяным панцирем, но были периоды, когда средняя температура воздуха на планете была выше современной на 6–14 °С, а океанических вод – примерно на 15 °С. Современные данные об изменении климата свидетельствуют о том, что вследствие вырубки лесов и выбросов парниковых газов (в первую очередь, углекислого газа и метана в результате сжигания ископаемого топлива и развития животноводства) средняя температура воздуха у поверхности Земли увеличилась с 1750 г. на 0,7 °С [25].

Одним из прогнозируемых следствий изменения климата стало сокращение площади ледового покрова в Арктическом регионе. В первые годы XXI в. резко изменился характер таяния и повторного замерзания морского льда в Северном Ледовитом океане. В сентябре 2007 г. был отмечен самый низкий показатель по площади ледового покрова с момента начала спутниковых измерений в 1979 г.; он был на 34% меньше среднего летнего минимума в период 1979–2000 гг.

В дополнение к сокращению площади происходит значительное истончение и обновление морского льда в Арктике: при максимальной величине площади в марте 2009 г. лишь 10% Северного Ледовитого океана были покрыты льдом старше двух лет; для сравнения: в 1979–2000 гг. доля льда старше двух лет составляла в среднем 30%. Это повышает вероятность дальнейшего ускорения высвобождения воды от ледового покрова в будущие летние периоды.

Перспектива исчезновения льда в летние периоды в Северном Ледовитом океане означает утрату всего биома. Целые сообщества видов адаптированы к жизни поверх ледового покрова или под ним – от водорослей, которые растут на нижней поверхности многолетнего льда и на которые приходится до 25% первичной продукции Северного Ледовитого океана, до беспозвоночных и других видов, находящихся выше по пищевой цепи, – птиц, рыб и морских млекопитающих.

Существует еще один аспект утраты ледяного покрова Арктики. Сокращение и утрата летнего и многолетнего льда чревато последствиями для биоразнообразия и за пределами Арктики. Белый лед отражает лучи солнечного света. Если на его месте появится более темная вода, океан и воздух будут нагреваться значительно быстрее, что еще больше ускорит таяние льда и нагревание воздуха над поверхностью суши и приведет к утрате тундры. Сокращение морского льда вызовет изменения температуры и солености морской воды, ведущие к изменению первичной продукции и видового состава планктона и рыбы, а также к крупномасштабным изменениям циркуляции океана, что затронет природные процессы далеко за пределами Арктики.

Многие последствия антропогенного изменения климата не очевидны и требуют внимательного и углубленного изучения. Из-за неясности последствий это, несомненно, важнейшее проявление глобального экологического кризиса получило название «Великое неизвестное» (The Great Unknown). Тем не менее, не вызывает сомнения, что последствия глобального изменения климата сказываются на здоровье людей, сельском хозяйстве, инфраструктуре и населении. Так, велика вероятность того, что рост опасных атмосферных явлений, таких как смерчи, ураганы, торнадо, представляют собой следствие антропогенного изменения климата: повышение температур приводит к увеличению испаряемости океана и, как следствие, к повышению турбулентности атмосферы. К этому надо добавить, что еще в 1984 г. был предсказан рост подобных явлений как результат увеличения электропроводности атмосферы в связи с постоянными выбросами атомной промышленностью мира больших количеств криптона-85. Следует также отметить тот факт, что потепление климата вызывает повышение уровня Мирового океана: в настоящее время рост

уровня океана составляет 3 мм/год, причем имеет тенденцию к дальнейшему росту [19].

3. БИОСФЕРНОЕ РАВНОВЕСИЕ И ПОСЛЕДСТВИЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Масштабное вмешательство человека в живую структуру планеты, прежде всего посредством химизации сельского хозяйства и выбросов в атмосферу продуктов горения углеводородного топлива, привело к нарушению естественных взаимосвязей на всех уровнях биосферы. Основным итогом воздействия человека на природу – глубокая деградация окружающей среды, утрата местообитаний (рис. 2). Под этим подразумеваются как прямое и полное разрушение естественной среды, так и ее деградация, то есть частичное разрушение, утрата свойств, необходимых для жизнедеятельности биотического сообщества. Необходимые для этого качества утрачиваются в первую очередь под влиянием прямого антропогенного воздействия, истощающего природные ресурсы, а также вследствие интродукции чужеродных видов и загрязнения среды.

3.1. Утрата местообитаний

Нарушение среды, лишение ее свойств, пригодных для полноценного существования биотического сообщества, принимает разные формы, затрагивает разные компоненты ландшафта и происходит с различной скоростью. Так, наземные и водные местообитания по-разному страдают от антропогенного воздействия. В случае наземных экосистем наибольшее значение имеет прямое разрушение, деградация экосистемы, в случае водных экосистем чаще всего естественная среда утрачивается в результате загрязнения. Кроме того, в результате деятельности человека в окружающей среде нередко создаются условия, к которым инвазивные виды адаптируются легче, чем местные. Трансформируя экосистемы, человек тем самым создает условия для внедрения и быстрого размножения видов-вселенцев.

Строительство дорог, дамб и иных сооружений вдоль береговых линий происходит удивительно быстро. Подсчитано, что в Европе начиная с 1960 г. в периоды массовой застройки ежедневно осваивается почти километровая полоса морского побережья. А это означает, что с такой же скоростью исчезают дюны и уничтожается уникальная среда, в которой только и могут существовать многие виды животных и растений.

В ряде случаев деградация местообитания происходит скрытно, без явных внешних признаков. Так, внешние факторы, которые не изменяют доминирующую растительную структуру сообщества, могут тем не менее привести к нарушениям в биотическом сообществе и в конечном итоге к исчезновению ви-

дов, хотя эти изменения заметны не сразу. Например, в лиственных лесах умеренного пояса деградация местообитаний может быть вызвана частыми неконтролируемыми низинными пожарами; эти пожары не обязательно губят зрелые деревья, но постепенно обедняют богатые сообщества лесных травянистых растений и насекомых лесной подстилки.

Столь же, на первый взгляд, незначительное воздействие приводит к сокращению видового разнообразия морских экосистем. Незаметно для общественности рыболовные суда ежегодно тралами бороздят около 15 млн км² океанского дна, разрушая площадь, в 150 раз большую, чем площадь вырубаемых за тот же период лесов. Тралы с рыболовных судов повреждают такие нежные создания, как анемоны и губки, сокращая видовое разнообразие и изменяя структуру сообществ.

Развитие новых технологий и разрушение окружающей среды в результате деятельности человека идет со скоростью, значительно превышающей способности видов адаптироваться к новым условиям. Исключение составляют немногие виды животных и растений, которые мы называем сорными и с которыми не желаем делить будущее планеты. Вероятно, такие насекомые и сорняки обладают диапазоном наследственной изменчивости, позволяющим адаптироваться к быстрым изменениям среды, наступающим в результате ее нарушения, но большинство более крупных растений и животных к этому не способны.

Вмешательство человека часто приводит к снижению разнообразия природных условий. Например, уничтожая различные виды древесных пород в смешанных лесах с целью создания предпочтительных условий для произрастания сосны, используемой в целлюлозной промышленности, человек неизбежно уменьшает число экологических ниш. В результате в образовавшихся чистых сосновых лесах видовое разнообразие животных и растений существенно уменьшается по сравнению с исходным сообществом смешанного леса. Подобное упрощение структуры леса ведет к огромной потере биоразнообразия, как это уже произошло в Финляндии, а в длительной перспективе динамика лесной экосистемы может быть необратимо нарушена.

Помимо полного разрушения, местообитания, раньше занимавшие большие площади, часто разбиваются на маленькие участки дорогами, полями, городами и прочими сооружениями. Фрагментация мест обитания – это процесс, при котором сплошная площадь местообитания одновременно сокращается и распадается на два фрагмента или более. При этом значительно возрастает риск исчезновения локальной популяции вида. Так, площадь участка леса, на котором весной петухи глухаря собираются на ток, должна составлять не менее 5–8 гектаров. Сокращение участков

леса, пригодных для токования, неизбежно приводит к падению численности этого вида.

Фрагментация – первый шаг к вымиранию популяций. В сотнях эмпирических исследований было показано, что независимо от фактической причины вымирания его риск для популяции увеличивается с уменьшением размера популяции. Риск локального вымирания также возрастает с уменьшением площади участка местообитания, поскольку мелкие участки обычно населены небольшими популяциями.

И. Хански [23] исследовал факторы, определяющие вымирание популяций. Было установлено, что локальные популяции образуют так называемые метапопуляции, приуроченные к определенным участкам местообитания, внутри которых локальные популяции обмениваются нерегулярными мигрантами. Для долговременного существования метапопуляции необходимо, чтобы скорость возникновения новых локальных популяций была достаточно высока и компенсировала бы локальное вымирание. Но этого не происходит, если участки местообитания очень малы, что обуславливает высокую скорость вымирания, или если эти участки изолированы, что снижает скорость повторных колонизаций. Порог вымирания – это тот случай, когда повторные колонизации едва восполняют локальное вымирание; ниже порога вымирания метапопуляция вымрет, даже если некоторое количество подходящих местообитаний все еще сохраняется в данном ландшафте.

3.2. Разрушение биоразнообразия

Биоразнообразие включает три ветви: генетическое разнообразие, разнообразие видов и разнообразие экосистем. Утрата тех или иных элементов, а также важных функций в любой из этих ветвей приводит к разрушению биоразнообразия. Чаще всего это происходит вследствие локального вымирания видов или популяций, а также исчезновения с лица Земли крупных таксонов. Все многообразие причин сокращения биоразнообразия в наши дни можно свести к одной всеобъемлющей – влиянию человека на природные экосистемы. Это влияние может быть прямым и стать причиной сокращения или даже полного исчезновения локальных популяций. Однако более серьезные последствия связаны с воздействием человека на сами экосистемы. Биоразнообразие планеты в глобальном масштабе подвержено влиянию глобальных факторов, таких как геологические процессы, изменение климата, нарушение биогеохимических циклов, экспансия прогрессивных биологических групп. Начиная с Антропогенного периода Кайнозойской эры определяющую роль в изменении биоразнообразия стали играть антропогенные факторы и в первую очередь изменение землепользования, то есть использование земель для различных целей, и широкое расселение чужеродных видов [2].

Долговременный тренд за последние 500 млн лет состоял в постепенном эволюционном развитии все более разнообразной биоты. Несмотря на кризисы, которые время от времени сотрясали биосферу, биоразнообразие продолжало расти. Периоды сокращения биоразнообразия в прошлом растягивались на миллионы лет, сохраняя адаптационные возможности экосистем и «подстегивая» биологическую эволюцию. Согласно современным представлениям [1], в фанерозое было восемь массовых вымираний организмов и среди них четыре великих вымирания. Массовые вымирания характеризуются исчезновением в узком интервале геологического времени большого числа таксонов, принадлежащих к различным систематическим и экологическим группам. После каждого кризиса обилие незаполненных ниш и слабая конкуренция вызывали компенсаторные эволюционные преобразования и появление новых групп из уцелевших остатков прежней фауны и флоры.

С приходом человека характер экологических кризисов изменился. Сейчас происходит катастрофический обрыв множества эволюционных стволов, исчезают многие филогенетические ветви, унося с собой информацию о путях развития жизни за миллиарды лет эволюции. По расчетам, ежедневно исчезает порядка 100–200 видов, и в XXI в. исчезнут 50–80% всех видов живых существ, населявших Землю до начала промышленной революции. Это на два порядка выше, чем во времена нескольких прошлых эпох массового вымирания видов, и на три порядка выше, чем «базовый» естественный темп вымирания [25].

Для того чтобы оценить последствия сокращения биоразнообразия для будущего человечества, необходимо учитывать ту роль, которую многие виды животных, растений и микроорганизмов играют в существовании и развитии биосферы [31]. Во-первых, биоразнообразие обеспечивает функционирование и устойчивость экосистем по отношению к внешнему воздействию (стрессу); соответственно, сокращение биоразнообразия приведет к деградации экосистем и невозможности этих последних выполнять свои функции по жизнеобеспечению человечества. Во-вторых, биоразнообразие обеспечивает заданный путь развития экосистем с прогнозируемым конечным состоянием; соответственно, сокращение биоразнообразия приведет к невозможности достижения устойчивого терминального состояния, что неизбежно отразится на территориальном и компонентном равновесии биосферы. В-третьих, биоразнообразие обеспечивает направленный, понятный характер эволюции биосферы, связанный с увеличением продуктивности, ростом многообразия слагающих биосферу экосистем, их территориальным и компонентным равновесием, формированием в результате воздействия биоты на абиотическую среду системы динамической устой-

чивости биосферы. Здесь даже незначительное сокращение биоразнообразия на уровне локальных экосистем неизбежно скажется на равновесии более высоких уровней, что в итоге приведет к нарушению обмена веществ между человеческим обществом и природой. Два первых пути антропогенного воздействия на биоразнообразие могут быть проиллюстрированы на примере тех процессов, которые реализуются на уровне экосистемы. Для оценки последствий сокращения биоразнообразия на уровне биосферы необходимо рассмотреть роль биоразнообразия в формировании биосферной системы динамической устойчивости.

Роль биоразнообразия в функционировании экосистемы

Не существует прямой безальтернативной зависимости между устойчивостью экосистемы и ее видовым богатством, так как существуют и сравнительно устойчивые маловидовые экосистемы, и неустойчивые экосистемы при высоком видовом богатстве. Связь разнообразия и устойчивости экосистем не укладывается в простую формулу: «чем больше разнообразие, тем лучше». Вместе с тем, длинные ряды наблюдений за состоянием экосистем показывают, что биотическое сообщество функционирует таким образом, что удерживает уровень биоразнообразия на оптимальном уровне, не позволяя превысить его. Иное дело – сокращение биоразнообразия; здесь действительно начинаются негативные процессы с далеко идущими последствиями. Только богатое видами сообщество способно обеспечить соответствие прихода и расхода, то есть соответствие между продуцированием органического вещества и его потреблением, и тем самым обеспечить устойчивость экосистемы. Весь вопрос здесь в способности биотического сообщества обеспечить это соответствие в данных условиях. В противном случае экосистема не сможет устоять под влиянием сильного внешнего воздействия и деградирует. Разрушение экосистемы проходит через ряд этапов и завершается нарушением связей между блоками экосистемы, размыканием круговоротов веществ, ростом стохастических процессов, усилением роли «сорных» видов фауны и флоры.

Динамика видового разнообразия сообщества относительно некоторого среднего уровня обеспечивается совместным действием факторов среды и различных форм взаимодействия между видовыми популяциями. Чем выше видовое разнообразие, тем успешнее биотическое сообщество взаимодействует с физической средой, обеспечивая то, что составляет основу жизни (рис. 7): 1) первичную и вторичную продукцию экосистемы, 2) круговорот питательных веществ, 3) устойчивость экосистемы по отношению к внешним воздействиям.

Ключевые блоки, влияющие на качество жизни человека, сформированы теми функциями экосистем,

которые определяются исключительно биоразнообразием. Темными стрелками показаны важнейшие связи: влияние биоразнообразия на функционирование экосистем и через него – на предоставляемые ими услуги, от которых зависит качество жизни человека. Блок «Биоразнообразие» включает уровни биоразнообразия, структура которых показана в рамке. Блок «Экосистемные услуги» включает регулирующие услуги (верхняя рамка), обеспечивающие оказание конкретных услуг (нижняя рамка).

Результат этого взаимодействия состоит в усилении гетеротипических реакций, сохранении минеральных веществ, повышении стабильности и увеличении информации. От того, насколько богато представлены видами уровни консументов первого, второго и т. д. порядков, от того, насколько велика их специализация, зависит полнота использования первичной продукции. В наиболее стабильных сообществах наблюдается равновесие между произведенным за год органическим веществом и его утилизацией значительным числом разнообразных консументов.

Подобно тому как стабильность экосистемы в целом определяется биотическим сообществом, так и эффективность деятельности самого сообщества зависит от информационных возможностей высоких трофических уровней – хищников высокого порядка. В свою очередь, содержание информации возрастает по мере подъема в верхние трофические уровни; именно так следует оценивать сложное поведение хищников, поддержание иерархической структуры группы, разнообразные связи в популяции и т. п. От их деятельности в значительной мере зависит эффективность управления энергетическими потоками в экосистеме. Здесь возможна аналогия с постиндустриальным обществом, в котором решающее значение приобретает не уровень производства (как это было в индустриальную эпоху), а оптимизация управления энергопотоками за счет информационных связей.

Но именно животные, формирующие «блок управления» экосистемы, «страдают» от деятельности человека в первую очередь. Многочисленные исследования показывают, что жертвами антропогенного воздействия в основном становятся виды, для которых характерны крупные размеры особей, большая продолжительность жизни, низкая способность к расселению, узкая специализация к использованию ресурсов и невысокие темпы размножения. Виды с такими свойствами приурочены, как правило, к высоким трофическим уровням и особенно характерны для поздних стадий развития экосистемы, когда после ряда промежуточных стадий надолго устанавливается климаксное сообщество. Такие экосистемы в первую очередь становятся объектом хозяйственной деятельности человека. На смену исчезающим из местной фауны и флоры видам приходят раннесукцессионные

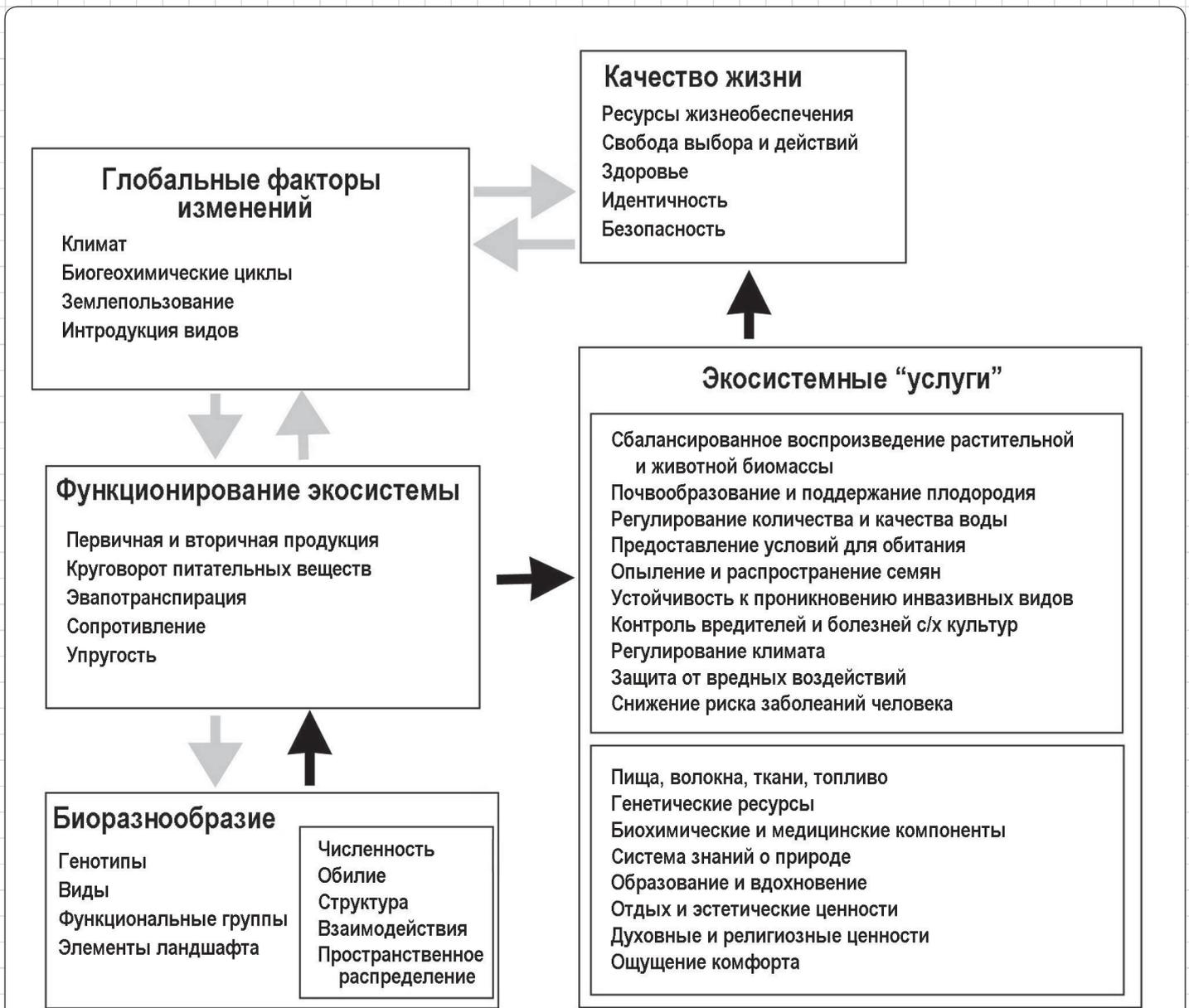


Рис. 7. Влияние биоразнообразия на качество жизни человека и уязвимость биоразнообразия по отношению к глобальным факторам

виды с противоположными характеристиками, которые уже не могут поддерживать полезные функции экосистем. Разрушая блок управления, человек лишает экосистему возможности сопротивляться внешнему воздействию. Иными словами, основной итог хозяйственной деятельности человека состоит в том, что он, разрушая систему устойчивости природных комплексов, делает их уязвимыми по отношению к видам-вселенцам, загрязнениям разного вида, опасным болезням и иным внешним воздействиям.

Без всего того, что входит в понятие биологического разнообразия, невозможно устойчивое функциониро-

вание экосистем и, следовательно, осуществление ими всех тех функций (рис. 7), от которых зависит существование человечества. Структура экосистемных услуг включает три блока жизненно важных услуг: обеспечивающие услуги, регулирующие услуги, услуги культурного характера. Каждый из этих блоков и все вместе в различных комбинациях обеспечивают такие составляющие высокого качества жизни человека, как материальная основа жизни, безопасность, здоровье и оптимальная структура социальных связей. Только при этом условии по-настоящему возможна свобода выбора и действий.

Роль биоразнообразия в развитии экосистемы

Любое биотическое сообщество со временем преобразуется. Его развитие, называемое также экологической сукцессией, проходит через ряд этапов. Каждое сообщество в силу превышения прихода над расходом (превышение продуцирования над утилизацией органического вещества) меняет среду и тем самым создает условия для собственной гибели и процветания следующего за ним сообщества. В процессе сукцессии большинство видов закономерно появляется и исчезает, дав возможность климаксовому сообществу обеспечить наиболее полный круговорот веществ. Скорость преобразований постепенно замедляется, и, наконец, на последнем этапе уже не видно никаких изменений; соответственно, надолго устанавливается терминальное, или климаксовое сообщество, которое находится в равновесии с преобладающими в данной местности условиями среды. Таковы биомы – климаксовые сообщества, достигшие равновесия с региональным климатом в результате развития в наземных условиях.

Сообщества, сменяющие друг друга в процессе развития экосистемы, характеризуются разными признаками. Так, для незрелых экосистем на ранних стадиях экологической сукцессии характерно низкое видовое разнообразие и простые схемы питания: много продуцентов, травоядных животных и мало редуцентов. Растения, в основном однолетние травы, тратят большую часть энергии на продукцию мелких семян для воспроизводства, а не на корневую систему, стебли и листья. Они получают питательный материал, как правило, со стоком из других экосистем, так как сами не могут удерживать и накапливать биогенные вещества.

Зрелые экосистемы, в противоположность незрелым, характеризуются многообразием видов, стабильными популяциями и сложными схемами питания. В системе доминируют редуценты, разлагающие большое количество мертвого органического вещества. Растения представлены крупными многолетними травами и деревьями, дающими крупные семена. Они тратят основную долю энергии и питательных материалов на поддержание корневой системы, ствола, листьев, а не на производство новых растений. Такие экосистемы сами добывают, удерживают и перерабатывают часть биогенных веществ, в которых нуждаются.

Человек, «преобразуя природу», прерывает естественный ход развития экосистемы, препятствует достижению ею устойчивого терминального состояния. Поскольку основным модифицирующим фактором экосистемы является биотическое сообщество, то очевидно, что, чем сильнее нарушена среда, тем выше вероятность того, что развитие экосистемы остановится, не достигнув равновесия с регио-

нальным климатом. Так, например, чрезмерный выпас может породить пустынное сообщество там, где по условиям регионального климата могла бы сохраняться степь. Пустынные сообщества в данном случае – дисклимакс, а степь – климатический климакс. Таким образом, вмешательство человека в процесс развития экосистемы приводит к тому, что биотическое сообщество не достигает равновесия со средой, а сама экосистема становится уязвимой к различного рода местным нарушениям и чаще всего теряет способность к долгому и устойчивому существованию. В итоге структура биосферы оказывается нарушенной – в ней не отражается история развития слагающих ее экосистем различного уровня.

Таков основной вывод, который можно сделать в результате рассмотрения территориального и компонентного равновесия биосферы вследствие антропогенного нарушения естественного хода развития слагающих ее экосистем. Внутри биосферы в норме должны быть территориально сбалансированы экосистемы более низкого порядка. Иными словами, на Земле должно быть необходимое количество тундр, лесов, пустынь и так далее в качестве биомов, а внутри биома тундра должна сохраняться оптимальная тундровость, внутри биома хвойных лесов – оптимальная лесистость, и так до самых мелких биогеоценозов. Значительные преобразования внутри биомов и смещение в них равновесия между экосистемами низшего порядка неминуемо вызывают ответ на более высоком уровне. Это отражается на многих природных процессах – от изменения глубины залегания грунтовых вод до перераспределения воздушных потоков. Аналогичное явление наблюдается и на уровне очень крупных систем биосферы при изменении соотношения между территориями биомов. В ходе освоения земель, в самом широком понимании этого слова, нарушается и компонентное, и территориальное равновесие. До определенной степени это допустимо и даже необходимо, ибо только в неравновесном состоянии экосистемы способны давать полезную продукцию в форме урожая. Но, не зная меры, человек стремится получить больше, чем может дать природа, забывая, что устойчивость экосистем складывается из великого множества элементов, формально не входящих в понятие «ресурсы».

Биоразнообразие и эволюция биосферы

Формирование системы динамической устойчивости биосферы – результат деятельности биоты (рис. 8). С первых шагов развития жизни на Земле живые организмы стали оказывать все возрастающее влияние на физическую среду, преобразуя ее и поставляя в нее источники энергии и вещества. Эволюция биосферы в фанерозое шла, в целом, по пути увеличения степени замкнутости круговоротов веществ и минимизации

их потерь не только в масштабе локальных экосистем, но и в масштабе региональных, континентальных и глобальных комплексов биосферы.

По современным представлениям, жизнь на Земле существует не менее 3,7 млрд лет, а сама планета – около 4,6 млрд. В первые 1,5 млрд лет Земля была населена прокариотами. Благодаря деятельности синезеленых водорослей кислород, побочный продукт фотосинтеза, выделялся во внешнюю среду, существенно изменяя ее. До этого времени (ранний докембрий) уровень кислорода в первичной атмосфере поддерживался на уровне 0,1% современного содержания за счет фотодиссоциации воды солнечным ультрафиолетом. Эта концентрация – одна из пороговых вели-

чин в развитии жизни – обеспечивала существование лишь анаэробов. Активно перемещающиеся животные, которым для движения необходимо достаточное количество энергии, возникли, когда уровень кислорода достиг 1% современного содержания (точка *Пастера*) [7]. На это же время (около 1,7 млрд лет назад) приходится бурное развитие бактерий и водорослей, образующих бактериальные маты и водорослевые болота, и, соответственно, повышение фотосинтетического индекса за счет совершенствования работы клеточного фотосинтетического аппарата (рис. 8). Наиболее важна третья пороговая концентрация – 10%, достигнутая, как считают сегодня, в ордовик-силуре (480–410 млн лет назад) с формированием

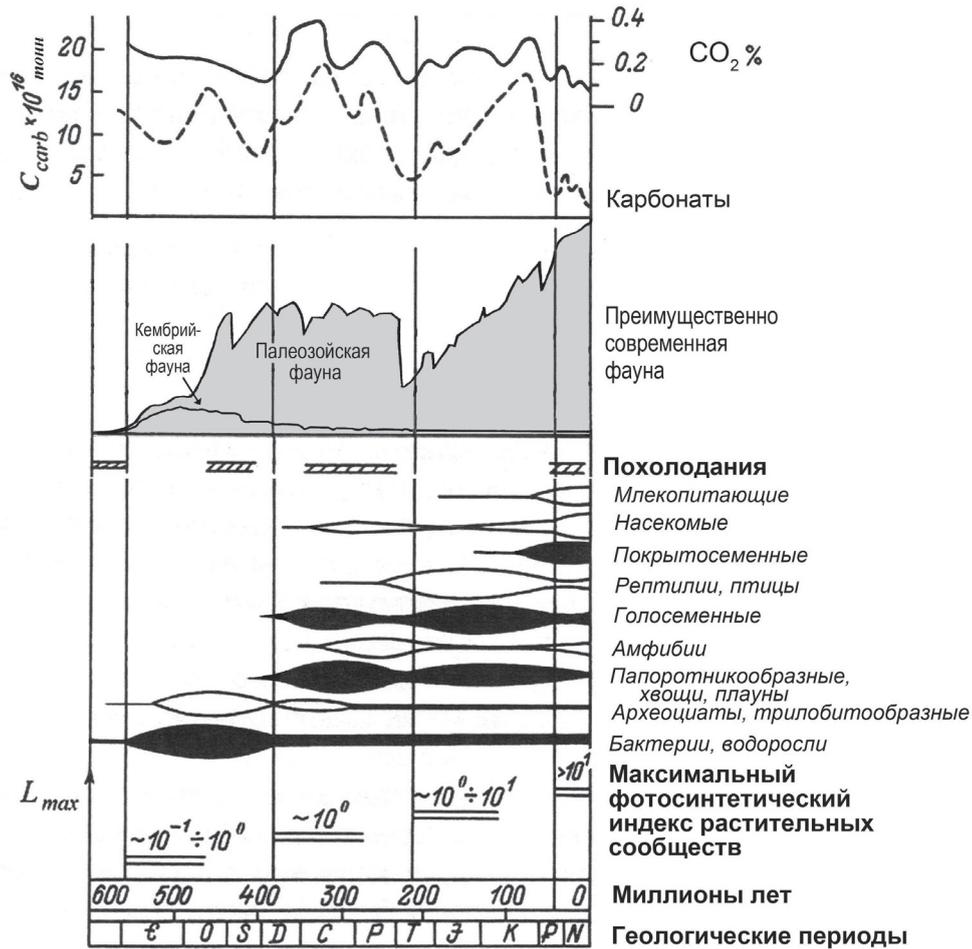


Рис. 8. Изменение характеристик биосферы и смены доминирующих таксонов наземных организмов в течение фанерозоя. По [18] с изменениями и дополнениями.

Эволюция биосферы представлена на схеме как последовательный, прерываемый кризисами (вертикальные линии на схеме), рост биоразнообразия

озонового экрана, позволяющего заселить приповерхностные, наиболее продуктивные части водоемов. До этого пригодным для жизни был узкий слой воды от 10 до примерно 50 метров глубины: выше проникал губительный ультрафиолет, ниже не был возможен фотосинтез и отсутствовал кислород. Именно с ордовика-силура заметны попытки заселения суши.

Освоение суши открывало для продуцентов новые возможности. Прежде всего, вынос на воздух фотосинтетических поверхностей способствовал повышению эффективности транспорта газов, необходимых для фотосинтеза и дыхания растений. Поскольку возможности более эффективного продуцирования органического вещества были исчерпаны к тому времени на молекулярном уровне в связи с возникновением максимально эффективных хлорофиллов, акцент переместился на формирование сложной структуры биогеоценозов в трехмерном пространстве. С освоением наземных и амфибиотических местообитаний предками современных папоротников, хвощей, плаунов и примитивными голосеменными было связано повышение фотосинтетического индекса и, соответственно, увеличение первичной продукции. Следующий этап роста первичной продукции пришелся на триас и был связан с господством на обширных пространствах голосеменных (рис. 8). Наибольшее усложнение структуры растительных сообществ обеспечили покрытосеменные – самая богатая видами группа растений – вплоть до практически полного перехвата солнечной энергии верхними «этажами» сложных растительных сообществ. Решающую роль в этом играл рост биоразнообразия.

И каждый раз смена доминирующих групп растительности следовала одинаковому сценарию: когда на долгом пути исторического развития среда «открывала окно» для активизации биосферных процессов (повышение парциального давления O_2 , рост продуктивности экосистем, экспансия более эффективных продуцентов, увеличение биологического разнообразия, усиление межвидовой конкуренции), преимущество получали биологические группы, способные к активному взаимодействию со средой [21]. Вспышка видообразования и расцвет новых групп неизменно следовали за крупной катастрофой, приводящей к гибели существовавших на тот период экосистем (рис. 8). На фоне разрушенных прежних связей, освободившихся экологических ниш и обострившейся в связи с этим конкуренции заявляли о себе и завоевывали все новые пространства биологические группы, способные быстро реагировать на изменяющуюся среду [8, 9].

За продуцентами следуют консументы, разнообразие которых прямо пропорционально разнообразию и обилию первичной продукции. Сценарий для каждой конкретной группы был свой и складывался из последовательности шагов, поддержанных отбором

и потому ведущих к более успешной эксплуатации среды. Эффективности взаимодействия биотического сообщества со средой способствовала также поддерживаемая отбором все усиливающаяся специализация зависящих друг от друга продуцентов и консументов. На определенном этапе развития экосистемы продуктивность и биологическое разнообразие достигают такого уровня, что у экосистем возникает нужда в «управляющем блоке» – верхних трофических уровнях, представленных специализированными хищниками. Усиливается межвидовая конкуренция, а это, в свою очередь, ведет к расширению сферы действия отрицательной обратной связи и повышению устойчивости экосистемы. Сочетание локальных экосистем, устойчивых и находящихся в равновесии с преобладающими в данном регионе условиями среды, – важный компонент динамической устойчивости биосферы в целом.

В наземных экосистемах на определенной стадии развития поток энергии и веществ рано или поздно (если нет нарушений) начинает проходить через детритную пищевую цепь. Появление постоянно существующего запаса трудно разложимой органики ведет к радикальной перестройке пищевых цепей [7]. С этого времени большая часть вещества и энергии оборачивается через детритные, а не через пастбищные цепи. Возрастает роль редуцентов, круговорот веществ замыкается. В результате создания замкнутых (и управляемых самими экосистемами) круговоротов веществ уменьшался разброс условий внутренней среды экосистем, возрастала динамическая устойчивость экосистем в пространстве и времени. Таким образом, в процессе эволюции биосферы на всех уровнях ее организации неоднократно происходило становление и постоянно шло усиление экологического гомеостаза – динамической устойчивости в пространстве и времени путем поддержания относительного постоянства условий внутренней среды. В климаксных природных экосистемах, где поддерживается равенство прихода и расхода органического вещества, круговороты питательных веществ очень тонко настроены на конкретное сочетание сложившихся условий. Выход вещества из таких круговоротов (главным образом, в естественные геологические круговороты, выступающие в качестве так называемого «резервного фонда») компенсируется за счет внешних поступлений, в том числе из атмосферы, а также за счет приноса продуктов выветривания горных пород, метеоритных выпадений и т. п.

Таким образом, равновесие биосферы поддерживается действием системы динамической устойчивости, в основе которой лежит биотическая регуляция круговорота веществ, «выедания» растительности и численности популяций. Первое, в частности, означает удивительное постоянство (на протяжении сотен

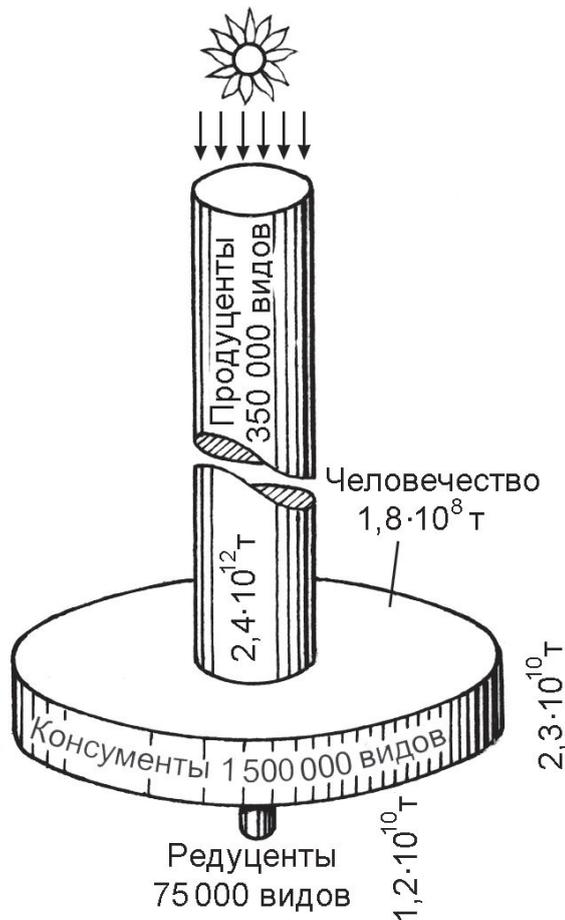


Рис. 9. Глобальная экологическая пирамида.

Принцип построения глобальной экологической пирамиды следующий: каждый из основных трофических уровней (продуценты – консументы – редуценты) изображается в форме цилиндра, высота которого – биомасса, а диаметр – количество видов

миллионов лет) содержания неорганического углерода в атмосфере; второе – обеспечивает использование ресурсов пропорционально их эффективному запасу; третье – предотвращает губительные для биосферы колебания численности популяций. У каждой геологической эпохи было свое равновесное содержание углекислоты в атмосфере и другие характерные параметры круговоротов веществ [17]. Изменения концентрации углекислоты в фанерозое совпадают с изменениями климата и сменой доминирующих все более эффективных продуцентов (рис. 8).

К этому следует добавить территориальное и компонентное равновесие устойчивых, находящихся в равновесии с преобладающими в данном регионе условиями среды локальных экосистем. В равновесии должны находиться не только локальные экосистемы и природные комплексы высокого уровня: биомы, ландшафты, биогеографические области и так далее [3], но и «основные действующие лица»: продуценты, консументы и редуценты. Кроме того, равнове-

сие биосферы не может быть полным, если не сбалансированы все компоненты – от потока энергии, субстрата, атмосферы, вод до биотической совокупности. Последняя является управляющей системой по отношению к абиотической совокупности. В свою очередь, в биотической системе управляющей подсистемой служат консументы, так как от них зависит степень использования первичной продукции и в конечном итоге стабильность системы в целом. По правилу Эшби, управляющая подсистема или управляющая система должна быть организована не менее сложно, чем управляемая; возможно, в этом лежит разгадка тайны, почему на Земле так много видов животных, особенно насекомых. Поэтому глобальная экологическая пирамида имеет вид волчка (рис. 9). При таком способе изображения основных трофических уровней биосферы соотношения диаметров острия, маховика и стержня «волчка жизни» могут быть в разных экосистемах различными, но для того, чтобы волчок не падал, они не могут быть произвольными.

4. РАССТАНОВКА ПРИОРИТЕТОВ

В работах, посвященных проблемам деградации биосферы, нечасто можно встретить попытку обосновать методы и способы выхода из глобального кризиса. Авторы статьи [25] предлагают комплексную программу по восстановлению планетарного баланса с акцентом на стабилизацию биогеохимических циклов. Программа включает ряд важных мер, часть которых уже предпринимается в настоящее время, однако, если судить по сохраняющейся остроте обсуждаемых проблем, без особого успеха. Большинство предлагаемых мер подразумевает высокий уровень развития науки и технологий и потому доступно лишь экономически развитым государствам [24]. Возможности применения этих мер, причем в весьма ограниченных в силу значительной научной и технической сложности масштабах, вновь возвращают нас к популярной в конце прошлого – начале нынешнего века проблеме взаимоотношения стран Севера и Юга.

Попытки сохранения биоразнообразия, усилия индивидуумов, социальных групп и организаций, направленные на спасение редких и исчезающих видов, нередко наталкиваются на прозаическую необходимость сиюминутного получения ресурсов для обеспечения потребностей человеческого общества. Для расстановки приоритетов, определения ближайших задач следует обратить внимание на причины того, что не дает возможности гармонизировать биосферные процессы с нуждами природопользования. Изменение климата, влияние многих других факторов, рассмотренных выше, но прежде всего стремление человека получать неограниченные ресурсы, не считаясь с возможностями биосферы, приводит в итоге к сокращению биоразнообразия и, следовательно, к невозможности нормального функционирования биосферной системы жизнеобеспечения человечества. Подобно тому, как эволюционное развитие биосферы определяется поступательным усложнением структуры биоразнообразия, так и разрушение самого биоразнообразия приводит к «угасанию» биосферы, к утрате ею важных свойств, необходимых для поддержания жизни человека.

Несмотря на отдельные успехи в деле сохранения биоразнообразия, к числу которых можно отнести спасение отдельных видов, популяций, организацию особо охраняемых природных территорий, общая негативная тенденция сокращения биоразнообразия сохраняется. Еще в Йоханнесбурге (2002) на второй международной конференции ООН по окружающей среде и развитию мировые лидеры постановили достичь существенного сокращения темпов утраты биоразнообразия к 2010 г. К настоящему времени стало очевидным, что поставленных целей достичь не удалось.

Итоги реализации намеченной на 2010 г. цели подведены в третьем докладе «Глобальная перспектива

в области биоразнообразия» [6]. Анализ итогов реализации поставленной цели позволяет сделать ряд выводов, которые необходимо учитывать при планировании и координации дальнейшей деятельности, направленной на сокращение утрат биоразнообразия. Основным выводом состоит в том, что меры реагирования на сокращение биоразнообразия в период до 2010 г. ограничивались учетом прямых нагрузок и реакции на них. В то же время недостаточное внимание было уделено первопричинам негативных изменений биоразнообразия, а также тому, насколько сокращение биоразнообразия сказывается на эффективности функционирования экосистем и, следовательно, на качестве услуг, предоставляемых экосистемами. Общая идея доклада о состоянии и перспективах сохранения биоразнообразия состоит в том, что проблему утраты биоразнообразия нельзя рассматривать в отрыве от таких проблем, как борьба с нищетой, улучшение здоровья, обеспечение процветания и безопасности нынешнего и будущих поколений. Достижению каждой из этих целей препятствуют существующие тенденции в состоянии и функционировании наших экосистем. В то же время достижению каждой из них будет способствовать содействие, которое мы окажем биоразнообразию, и то внимание, которого оно заслуживает.

От внимания исследователей ускользала взаимосвязь первопричины, например, растущей потребности населения в ресурсах, с факторами угрозы для биоразнообразия, например, упрощением структуры экосистемы, ее загрязнением и т. п. Как следствие этого, в большинстве случаев первопричины утраты биоразнообразия не устранялись. Положение усугублялось тем, что параллельно с устранением причин сокращения биоразнообразия не принимались меры по обеспечению долгосрочных выгод от «нормально функционирующих» экосистем. Принимавшиеся меры редко соответствовали масштабу и сложности задач, для решения которых они предназначались.

Для того чтобы разорвать или по крайней мере ослабить связь между первопричинами и прямыми нагрузками на биоразнообразие, необходим достаточный учет услуг, предоставляемых экосистемами (см. рис. 7). Представление об экосистемных услугах позволяет по-новому взглянуть на условия сохранения биоразнообразия в зависимости от характера и интенсивности воздействия на экосистемы. Система связей между элементами, определяющими успех в деле сохранения биоразнообразия и прямыми нагрузками на экосистемы (рис. 10), показывает, что сокращение экосистемных услуг автоматически вызывает рост первопричин, то есть вся система действует по принципу обратной связи, где биоразнообразие выступает в роли «рабочего элемента». Отсюда следует вывод о необходимости усиления мер, направленных

на сохранение биоразнообразия как основного условия повышения качества жизни людей.

Единственный способ избежать конфликта между усилиями по сохранению биоразнообразия и человеческими потребностями – следовать принципам устойчивого развития. Подход с позиции концепции устойчивого развития позволяет рассматривать проблемы сохранения биоразнообразия во взаимосвязи и взаимодействии с экономическими и социальными процессами. Такой подход подразумевает необходимость учета в ценообразовании и других рыночных механизмах услуг, которые предоставляют экосистемы. Он также показывает, что интенсивность использования природных ресурсов должна быть сбалансирована с возможностями поддержания функций и жизнеспособности экосистем, так как от услуг, которые они предоставляют, напрямую зависит качество жизни населения. Задача социологов состоит в том, чтобы «соединить» в сознании людей информацию о состоянии экосистем и о том, как это сказывается на качестве их жизни. Особенно остро эта проблема стоит для бедных стран с высоким уровнем рождаемости.

В будущем для обеспечения эффективного сохранения, восстановления и разумного использования биоразнообразия, а также создания условий для эффективной «работы» экосистем предстоит расширить деятельность, переместив ее на новые уровни и в новые масштабы. Для достижения этого предлагается ряд мер, далеко выходящих за рамки сугубо экологических проблем и включающих такие вопросы, как повышение эффективности использования земельных, водных, морских и иных ресурсов, улучшение пространственного планирования для защиты районов, важных с точки зрения сохранения биоразнообразия, ликвидация каналов перемещения инвазивных видов и т. п. Должны быть включены меры экономического и социального характера: использование ценообразования, финансовой политики и других механизмов, позволяющих отразить реальную ценность экосистем, предоставляемые ими услуги в качестве мощных стимулов для изменения тенденций к разрушению. Решающую роль должны сыграть национальные программы или законодательства для создания благоприятных условий для поддержки иници-

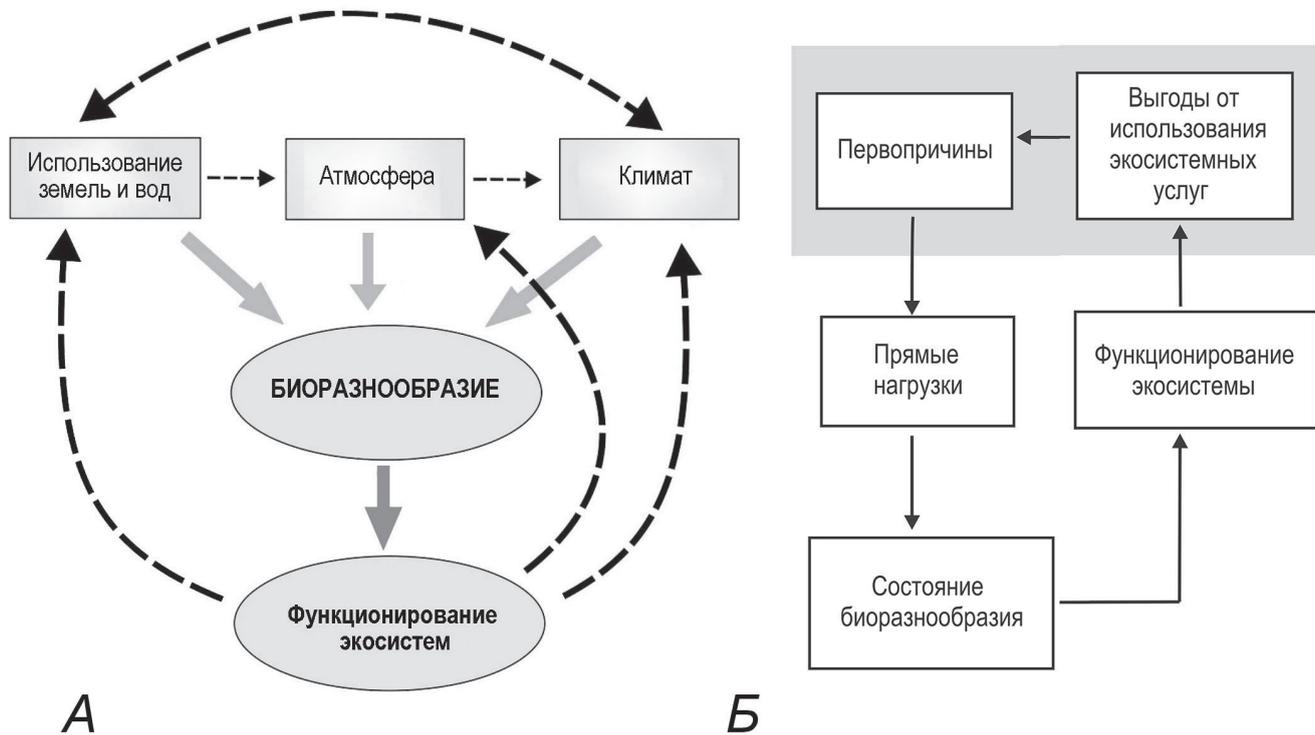


Рис. 10. Контуры обратной связи, определяющей зависимость силы и характера антропогенного воздействия от «функционирования» экосистем, которое, в свою очередь, зависит от состояния биоразнообразия без учета первопричин (А) и с их учетом (Б).

На рис. Б темным выделены элементы обратной связи, которые необходимо учитывать для снижения нагрузки на биоразнообразии

циатив «снизу» при ведущей роли общин, местных органов власти или предприятий. Для выхода из глобального экологического кризиса человеку придется кардинально менять образ жизни и отношение к природе; возрастает роль социологических исследований и экологического просвещения, особенно в странах с быстро растущим населением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В основе устойчивости биосферы лежит биотическая регуляция круговорота веществ, «выедания» растительности и численности популяций. Все эти качества были сформированы в ходе исторического развития биосферы, которое, хотя и не было гладким, в масштабе геологического времени неизменно сохраняло вектор в направлении повышения биологического разнообразия, вектор – от простого к сложному, от хаотичного к организованному, от случайного к закономерному. И каждый раз на протяжении сотен миллионов лет биосфера снова и снова воспроизводит себя в миллионах локальных экосистем, которые в иерархическом порядке выстраиваются снизу вверх – от локальных экосистем через биомы и биогеографические области до биосферы. Биологическое разнообразие обеспечивает компонентное и территориальное равновесие слагающих биосферу экосистем. Только богатое видами сообщество способно обеспечить равновесие между поступающей энергией и ее использованием и, в свою очередь, через серию этапов ненарушаемого развития обеспечить территориальное равновесие слагающих биосферу компонентов.

В процессе «преобразования природы» человек нарушил эту гармонию. Разум усилил физиологические возможности человека: в отличие от всех иных живых существ человек стал изобретать и использовать множество инструментов и технологий, усиливающих и дополняющих возможности его тела [4]. Результатом деятельности человека стало размыкание естественных биогеохимических циклов, загрязнение среды, глубокая деградация окружающей среды, утрата местообитаний. Разрушение биоразнообразия лишает экосистемы возможности полноценного функционирования, нарушает территориальное и компонентное равновесие биосферы. Угроза истощения природных ресурсов заставила человека сначала задуматься о рационализации процесса природопользования, а затем и о необходимости возобновления природных ресурсов. Деградация природных комплексов делает особенно актуальным воспроизводство экологических ресурсов. Настало время решительных мер, направ-

ленных на возобновление основного экологического ресурса – биоразнообразия. И здесь необходимы не только продуманные действия по сохранению и восстановлению природных экосистем, но и полный отказ от близорукой политики «освоения» таких уязвимых территорий, как Арктика.

Биоразнообразие – своеобразная биологическая матрица, определяющая вектор социального развития. А если это так, то первые шаги должны быть сделаны в направлении сохранения биоразнообразия. Эффективность таких шагов определяется не только тем, насколько полно мы учитываем роль биоразнообразия в обеспечении устойчивости экосистем [29], но и тем, как предпринимаемые нами меры скажутся в конечном счете на самом биоразнообразии [28, 30]. Медлить с этими мерами нельзя – необходимы срочные действия в сфере экологии, экономики и социологии для того, чтобы замедлить темпы разрушения биоразнообразия. Очень важно, чтобы трагедия не застала нас врасплох. А такая возможность есть. На примере модели «лягушка в теплой воде» авторы [25] в аллегорической форме показали опасность постепенного и потому незаметного развития кризисных явлений – вплоть до того момента, когда кризисная ситуация становится необратимой и приводит к разрушению (гибели) системы. Трагический урок с атомной станцией Фукусима свидетельствует о следующем. Современная атомная станция была снабжена совершенной системой жизнеобеспечения, способной выдержать мощное землетрясение. И она бы его выдержала, если бы через некоторое время после начала землетрясения высокая волна не затопила саму систему жизнеобеспечения, лишив станцию возможности сопротивляться губительным процессам. Мы сослались на события 2011 г., чтобы подчеркнуть, насколько опасно лишать природные экосистемы их способности сопротивляться внешнему разрушительному воздействию.

В 2008–2009 гг. правительства многих стран мира оперативно мобилизовали сотни миллиардов долларов, чтобы предотвратить крах финансовой системы, шаткость которой застала рынки врасплох. Сегодня у нас есть четкие факты, предупреждающие о возможной критической точке, к которой мы подталкиваем наши экосистемы, сформировавшие нашу цивилизацию. Небольшой части тех средств, которые мгновенно были выделены на предупреждение экономического кризиса, хватило бы для предотвращения гораздо более серьезного и фундаментального кризиса систем, поддерживающих жизнь на Земле.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Алексеев АС. Типизация фанерозойских событий массового вымирания организмов. Вестн Моск ун-та. 2000;(4):6-14.
2. Бродский АК. Ускользящая реальность. Прошлое, настоящее и будущее биоразнообразия. СПб.: ДЕАН; 2012.
3. Бродский АК. Биоразнообразие: структура, проблемы и перспективы сохранения. В кн.: Аспекты биоразнообразия. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2016. с. 380-96.
4. Вернадский ВИ. Биосфера и ноосфера. М.: Наука; 1989.
5. Вернадский ВИ. Живое вещество и биосфера. М.: Мысль; 1994.
6. Глобальная перспектива в области биоразнообразия 3. Монреаль: Секретариат Конвенции о биологическом разнообразии; 2010.
7. Еськов КЮ. История земли и жизни на ней. М.: Изд-во НЦ ЭНАС; 2004.
8. Жерихин ВВ. Эволюционная биоценология: проблема выбора моделей. В кн.: Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. М.: Недра; 1994. с. 13-20.
9. Жерихин ВВ. Избранные труды по палеоэкологии и филогенетике. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2003.
10. Илларионов А, Пивоварова Н. Экономические последствия ратификации Российской Федерацией Киотского протокола. Вопросы экономики. 2004;(11):34-59.
11. Керженцев АС. Функциональная экология. М.: Наука; 2006.
12. Ковалев ЕВ. Глобальная продовольственная проблема. Мировая экономика и международные отношения. 2004;(10):26-34.
13. Кокорин АО, Грицевич ИГ, Сафонов ГВ. Изменение климата и Киотский протокол – реалии и практические возможности. М.; 2004.
14. Кравчук МА, Красков ЮИ, Малинин ВН. Глобальный экологический кризис: стратегия выживания. Общество Среда Развитие. 2009;(1):194-205.
15. Лапенис АГ. Принцип биогеохимической селекции организмов. В кн.: Рассеянные элементы в бореальных лесах. М.: Наука; 2004. с. 293-300.
16. Левченко ВФ. Эволюция биосферы до и после происхождения человека. СПб.: Наука; 2004.
17. Левченко ВФ. Три этапа эволюции жизни на Земле. Lambert Academic Publishing; 2011.
18. Левченко ВФ. Биосфера: этапы жизни (эволюция частей и целого). СПб.: Свое издательство; 2012.
19. Малинин ВН. Что происходит с уровнем Мирового океана? Общество Среда Развитие. 2007;(4):97-102.
20. Медоуз Д, Рандерс Й, Медоуз Д. Пределы роста. 30 лет спустя. М.: ИКЦ Академкнига; 2008.
21. Попов АВ. Глобальная палеоэкология. В кн.: Общая палеоэкология. СПб.: Изд. СПбУ; 2000. с. 109-27.
22. Примак РБ. Основы сохранения биоразнообразия. М.: Издательство НУМЦ; 2002.
23. Хански И. Ускользящий мир. Экологические последствия утраты местообитаний. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2010.
24. Яблоков АВ, Левченко ВФ, Керженцев АС. Переход к управляемой эволюции биосферы. Наука в России. 2014;(4):48-54.
25. Яблоков АВ, Левченко ВФ, Керженцев АС. Очерки биосферологии I. Выход есть: переход к управляемой эволюции биосферы. Philosophy & Cosmology. 2015;(14):92-118.

Общий список литературы/Reference List

1. Alekseyev AS. [Typification of Phanerozoic events of the mass extinctions of organisms]. Vestnik Moskovskogo Universiteta. 2000;(4):6-14. (In Russ.)
2. Brodsky AK. Uskolzayushchaya Realnost. Proshloe, Nastoyashchee i Budushchee Bioraznoobraziya. Saint Petersburg: DEAN; 2012. (In Russ.)
3. Brodsky AK. [Biodiversity: structure, problems and perspectives of conservation]. In: Aspekty Bioraznoobraziya. Moscow: Tovarishchestvo Nauchnykh Izdaniy KMK; 2016. p. 380-96. (In Russ.)
4. Vernadsky VI. Biosfera i Noosfera. Moscow: Nauka; 1989. (In Russ.)
5. Vernadsky VI. Zhivoye Veshchestvo i Biosfera. Moscow: Mysl; 1994. (In Russ.)
6. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Globalnaya perspektiva v oblasti bioraznoobraziya 3. Montreal: The Secretariat; 2010. (In Russ.)
7. Yeskov KYu. Istoriya Zemli i Zhizni na Ney. Moscow: Izdatelstvo NTS ENAS; 2004. (In Russ.)
8. Zherikhin VV. [Evolutionary biocenology: The problem of models selection]. In: Ekosistemnye Perestroyki i Evolyutsiya Biosfery. Moscow: Nedra; 1994. p. 13-20. (In Russ.)
9. Zherikhin VV. Izbrannye Trudy po Paleoekologii i Filotsenogenetike. Moscow: Tovarishchestvo Nauchnykh Izdaniy KMK; 2003. (In Russ.)
10. Illarionov A, Pivovarova N. [The economic consequences of ratification the Kyoto Protocol

- by the Russian Federation]. *Voprosy Ekonomiki*. 2004;(11):34-59. (In Russ.)
11. Kerzhentsev AS. *Funktionalnaya Ekologiya*. Moscow: Nauka; 2006. (In Russ.)
 12. Kovalev YeV. [The global food problem]. *Mirovaya Ekonomika i Mezhdunarodnye Otnosheniya*. 2004;(10):26-34. (In Russ.)
 13. Kokorin AO, Gritsevich IG, Safonov GV. *Izmenenie Klimata i Kiotskiy Protokol – Realii i Prakticheskiye Vozmozhnosti*. Moscow; 2004. (In Russ.)
 14. Kravchuk MA, Kraskov YuI, Malinin VN. [The global environmental crisis: a survival strategy]. *Obshchestvo Sreda Razvitiye*. 2009;(1):194-205. (In Russ.)
 15. Lapenis AG. [The principle of biogeochemical selection of organisms]. In: *Rasseyannye Elementy v Borealnykh Lesakh*. Moscow: Nauka; 2004. p. 293-300. (In Russ.)
 16. Levchenko VF. *Evolyutsiya Biosfery do i Posle Proiskhozhdeniya Cheloveka*. Saint-Petersburg: Nauka; 2004. (In Russ.)
 17. Levchenko VF. *Tri Etapy Evoliutsii Zhizni na Zemle*. Lambert Academic Publishing; 2011. (In Russ.)
 18. Levchenko VF. *Biosfera: Etapy Zhizni (Evolyutsiya Chastey i Tselogo)*. Saint Petersburg: Svoye Izdatelstvo; 2012. (In Russ.)
 19. Malinin VN. [What happens to the level of the ocean?]. *Obshchestvo Sreda Razvitiye*. 2007;(4):97-102. (In Russ.)
 20. Meadows D, Randers Y, Meadows D. *Predely Rosta. 30 Let Spustya*. Moscow: IKTs Akademkniga; 2008. (In Russ.)
 21. Popov AV. [Global paleoecology]. In: *Obshchaya paleoekologiya*. Saint Petersburg: Izdadelstvo SPbU; 2000. p. 109-27. (In Russ.)
 22. Primak RB. *Osnovy Sokhraneniya Bioraznoobraziya*. Moscow: Izdatelstvo NUMTs; 2002. (In Russ.)
 23. Khanski I. *Uskolzayushchiy Mir. Ekologicheskiye Posledstviya Utraty Mestoobitaniy*. Moscow: Tovarishestvo Nauchnykh Izdaniy KMK; 2010. (In Russ.)
 24. Yablokov AV, Levchenko VF, Kerzhentsev AS. [The transition to a controlled evolution of the biosphere]. *Nauka v Rossii*. 2014;(4):48-54. (In Russ.)
 25. Yablokov AV, Levchenko VF, Kerzhentsev AS. [Essays of Biospherology 1. There is a way: the transition to a controlled evolution of the biosphere]. *Philosophy & Cosmology*. 2015;(14):92-118. (In Russ.)
 26. Carson R. *Silent Spring*. Harmondsworth: Penguin Books Ltd.; 1982.
 27. Ehrlich PR. *The Population Bomb*. N.Y.: A Sierra Club-Ballantine Book; 1968.
 28. Fordham DA, Akçakaya HR, Alroy J, Saltré F, Wigley TML, Brook BW. Predicting and mitigating future biodiversity loss using long-term ecological proxies. *Nature Climate Change*. 2016;6:909-16.
 29. Isbell F, Craven D, Connolly J, Loreau M, Schmid B, Beierkuhnlein C, Bezemer TM, Bonin C, Brulheide H, de Luca E, Ebeling A, Griffin JN, Guo O, Hautier Y, Hector A, Jentsch A, Kreyling J, Lanta V, Manning P, Meyer ST, Mori AS, Naeem S, Niklaus PA, Polley HW, Reich PB, Roscher C, Seabloom EW, Smith MD, Thakur MP, Tilman D, Tracy BF, van der Putten WH, van Ruijven J, Weigelt A, Weisser WW, Wilsey B, Eisenhauer N. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*. 2015;526:574-7.
 30. Phelps J, Webb EL, Adams WM. Biodiversity co-benefits of policies to reduce forest-carbon emissions. *Nature Climate Change*. 2012;2:497-503.
 31. Yablokov AV, Ostroumov SA. *Conservation of Living Nature and Resources: Problems, Trends and Prospects*. Berlin: Springer Verlag; 1991.



РОЛЬ ТРАДИЦИОННЫХ ИНСТИТУТОВ В СТРАТЕГИИ СОУПРАВЛЕНИЯ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

А.В. Бочарникова

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: aleksandra.bocharnikowa@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 14.12.2016; принята к печати 03.02.2017

В районах, где создаются особо охраняемые природные территории (ООПТ), актуальным вопросом является соотнесение интересов местных жителей и Администрации ООПТ. Возможным способом решения противоречий и предупреждения конфликтов является концепция «соуправления», которая разрабатывалась в рамках теории экосистемного менеджмента западными авторами. Целью статьи является исследование возможности применения стратегии соуправления на примере созданного в 2015 г. в Пожарском районе Приморского края национального парка «Бикин». Существуют условия, когда для решения этой проблемы необходимо создание системы соуправления в модельном регионе: отдаленное географическое расположение, факт проживания и хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов, активное вовлечение территории в коммерческий оборот (угроза лесозаготовок), стихийный и нерегулируемый туризм, оказывающие значительную нагрузку на экосистему. Рассматривается динамика институтов, регулирующих традиционное природопользование коренных народов, начиная с конца XIX в., заканчивая современным периодом. Конфликты между лесопромышленными компаниями, планирующими лесозаготовки, и удэгейцами и нанайцами, которые имеют охотничьи угодья на этой же территории, возникают с 1980 г. Организация Национального парка способствует решению этих противоречий. Анализ ситуации в бассейне реки Бикин показал необходимость применения стратегии соуправления. В рамках созданного Национального парка происходит адаптация институтов, регулирующих традиционное природопользование коренных малочисленных народов. Соответственно классификации систем соуправления по типам в данном случае имеет место переходный тип между консультативным и совместным. Однако в сравнении с западными странами в России местные жители меньше задействованы в принятии решений, окончательное решение принимает Правительство РФ.

Ключевые слова: институты, традиционное природопользование, коренные малочисленные народы, особо охраняемая природная территория, соуправление.

THE ROLE OF TRADITIONAL INSTITUTIONS IN STRATEGIES OF CO-ADMINISTRATION OF PROTECTED AREAS IN PRIMORSKIY REGION OF RUSSIA

A.V. Bocharnikova

Saint-Petersburg Research Center of Environmental Safety, the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

E-mail: aleksandra.bocharnikowa@yandex.ru

In regions where protected areas are being instituted, it is important to harmonize the interests of indigenous people and of protected area administrations. An approach to resolving contradictions and preventing possible conflicts is based on the co-administration concept developed in the West within the framework of ecosystems management theory. The objective of the present paper is to assess the possibility to use co-administration in Bikin National Park instituted in Pozharskiy District of Primorskiy Region of Russia in 2015. Under certain conditions, the assessment becomes possible based on a model area, which features a relatively remote location, the presence of small indigenous populations involved in their specific economic activities, and massive invasion of business, such as lumbering, and uncontrolled tourism, which makes a significant burden for ecosystems. The review of these relationships covers the period from the end of the XIX century up to the present time. Conflict between lumbering companies and Udege and Nanai people who have been hunting for ages in these territories is becoming increasingly tense starting from 1980-ies. The institution of a national park may damp this conflict. For this, co-administration strategies are most promising for Bikin river basin. At present, a transition from the consultative to the joint administration mode is taking place there. However, compared to the western approaches, indigenous people in Russia are less involved in decision making, which is delegated to the government of the Russian Federation.

Keywords: institutions, traditional nature management, small indigenous people, protected areas, co-administration.

Введение

Проблема соотношения природоохранных интересов и интересов коренных малочисленных народов при создании особо охраняемых природных территорий (ООПТ) является актуальной во многих странах, где проживают коренные народы. При этом зачастую происходят конфликты между участниками отношений.

Соуправление представляет собой систему мер, выработанную в результате соглашения между имеющими соответствующие полномочия правительственными агентствами и представителями различных групп пользователей биоресурсами, включая в данном случае коренные малочисленные народы Дальнего Востока и лесозаготовительные компании [3].

Предпосылки для создания системы соуправления в модельном регионе в Пожарском районе Приморского края обусловлены тем, что территория находится на значительном удалении от центра, а федеральные и региональные органы власти не всегда достаточно хорошо знакомы с актуальным положением дел. Для того чтобы принимать правильные решения, важно знание ситуации на месте, чему способствовала бы обратная связь со стороны местных жителей.

Спецификой данного региона – Пожарского района Приморского края – является то, что необходимо не просто соуправление, а такое соуправление, которое основано на традиционных знаниях, поскольку эта территория является местом проживания коренных малочисленных народов Дальнего Востока, которые заняты традиционным природопользованием и имеют свою культуру, в значительной мере отличающуюся от культуры доминирующего общества. В последнее время происходит разрушение традиционного природопользования и утрата культуры коренных народов, что связано с их активной интеграцией в доминирующее общество: в советское время очень сильно изменилась экономическая деятельность аборигенов, включающая в себя охоту, собирательство и рыболовство, местные жители перестали заниматься промыслами в рамках семейно-родовой общины.

Еще одной проблемой, которая требует немедленного решения, является активное вовлечение территории в коммерческий оборот: рост лесозаготовительных компаний, развитие стихийного туризма, в котором участвуют местные жители, становясь проводниками для туристов. Туристы занимаются охотой и рыболовством в неограниченном количестве, это никак не контролируется и оказывает серьезную нагрузку на территорию. Более того, у самих местных жителей, которые вовлечены в коммерческие отношения, меняются представления и институты, а прибыль, которую можно получить в короткие сроки, становится более значимой, чем долговременные перспективы сохранения природы.

Предыдущий опыт государственного управления, который включал заимствование институтов доминирующего общества для регулирования отношений в традиционном обществе, был не очень успешным: примером может стать советская политика коллективизации среди коренного населения, когда новые отрасли хозяйства для аборигенов практически не прижились. Для управления данной территорией необходимо использовать институты традиционного общества, основанные на традиционных знаниях, которые по-новому переосмыслены и адаптированы к существующим условиям; таким образом система соуправления сможет максимально учитывать интересы местного сообщества.

12 декабря 2015 г. Министерство природы Российской Федерации издало Приказ № 429 о создании Национального парка «Бикин»¹ на территории Пожарского района Приморского края в месте компактного проживания коренных малочисленных народов Дальнего Востока – удэгейцев и нанайцев. Этот национальный парк стал первой ООПТ федерального значения, в уставе которой написано, что целью ее создания является сохранение традиционного образа жизни коренных малочисленных народов Дальнего Востока².

Исследования в области этнографии коренных малочисленных народов Дальнего Востока были проведены учеными Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения РАН (ТИГ ДВО РАН), однако до сих пор недостаточно изучены проблемы адаптации коренных малочисленных народов Дальнего Востока к современным условиям.

Целью данной статьи является анализ возможности применения стратегии соуправления в модельном регионе в бассейне реки Бикин, а также динамики изменения институтов, которые регулируют традиционное природопользование коренных малочисленных народов Дальнего Востока.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОГО ПОДХОДА

Институциональный подход, зародившийся в экономике и социологии и сформулированный в работах Т. Веблена [16], У.К. Митчелла [13], Дж.Р. Комманса [11], можно успешно применять для исследования механизмов адаптации институтов коренных народов к новым политическим и социально-экономическим условиям. Его отличительной особенностью, при сравнении с другими экономическими теориями, яв-

¹ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 12.08.2016 № 429 «Об утверждении Положения о национальном парке Бикин» // Официальный сайт «Российская газета». URL: <https://rg.ru/2016/09/13/minpriodi-prikaz429-site-dok.html> (дата обращения: 26.11.2016).

² Проект Положения Устава Национального парка «Бикинский».

ляется то, что он отрицает идею линейного прогресса. Этот подход исходит из положения, что культура коренных народов уникальна, и ее нельзя сравнивать с западными культурами по одним и тем же социально-экономическим критериям.

На всех этапах развития институционального подхода особое значение придавалось общественным установкам, культуре и обществу. Переход от старого институционального к неинституциональному подходу произошел, когда под институтами перестали понимать организации, а институты стали рассматриваться как правила поведения в обществе [4].

Институты, по Д. Норту, являются социальными практиками, которые основаны на правилах игры, договорах и контрактах. Их частью являются общественные дискуссии, неофициальные соглашения, которые регулируют поведение участников, и, кроме того, традиционные формы действия, поддерживающие эти правила. Институты являются всеобщими нормами, которые воспроизводятся группами, имеют социальный характер. Часто формой существования институтов становятся запреты на совершение каких-либо действий.

В соответствии с концепцией Д. Норта, современное общество регулируется двумя типами институтов: формальными, включающими весь свод законов и правил, и неформальными, являющимися негласными правилами поведения. Формальные и неформальные институты существуют одновременно, постоянно изменяясь. Часто между ними возникают конфликты и противоречия. Свойствами институтов являются инерционность и устойчивость, поэтому, когда обществом принимаются новые институты, требуется время, чтобы они начали действовать. Для того чтобы институты могли работать на практике, необходим механизм, который бы контролировал исполнение норм. Эффективность работы институтов напрямую зависит от того, насколько в их работе заинтересованы участники отношений.

Для институционального подхода большое значение имеет история: прошлое и настоящее формируют новые институты. Критерием степени сохранности традиционного общества является устойчивость институтов, которые его регулируют, поэтому важно рассмотреть, какие институты остаются, какие трансформируются, а какие – исчезают.

Как правило, когда речь идет о коренных малочисленных народах, неизбежно встает вопрос о традиционном природопользовании как их основном занятии. В научной литературе наиболее часто используется определение традиционного природопользования, сформулированное в законе (поскольку общее определение не было выработано) как «исторически сложившиеся и обеспечивающие неистощительное природопользование, способы использования объектов животного и растительного мира, других природных ресурсов коренными

малочисленными народами Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации»³.

Из формулировки, принятой в законодательстве, может показаться, что традиционное природопользование архаично и неизменно, а его методы и формы не меняются. Однако правильным является понимание традиционного природопользования в динамике, поскольку меняются не только методы его ведения, но и экономические условия. Коренные малочисленные народы являются частью политической, социальной и экономической системы. Примером некорректного понимания традиционного природопользования является Постановление Администрации Приморского края от 28 июля 2008 г. № 169-па «Об утверждении положений о государственных природных заказниках краевого значения», которое запрещало использование механического транспорта на территории заказника «Верхнебикинского»⁴, где располагались охотничьи угодья жителей поселка Красный Яр и куда можно было добраться только на моторной лодке.

Важным вопросом является именно существование институтов в современных условиях.

КОНЦЕПЦИЯ СОУПРАВЛЕНИЯ

Концепция «соуправления» или «ко-менеджмента» разрабатывалась в теории экосистемного менеджмента [17]; в данном исследовании ко-менеджмент и соуправление используются как синонимы. Однако то, насколько действительно в России возможно осуществление процесса соуправления, – вопрос дискуссионный; фактически, теория соуправления оказывается в большей степени применимой для стран Запада.

Соуправление является партнерством между двумя или более сторонами: фактически – это партнерство, в котором государственные органы, местные общины и пользователи ресурсов, неправительственные организации и другие заинтересованные стороны соответствующим образом разделяют полномочия и ответственность по управлению особой территорией или рядом ресурсов⁵.

Целью применения стратегии соуправления является решение или же предупреждение конфликта, который возникает, когда противоречие между сторонами становится особенно острым, они не могут договориться. Проявлениями конфликта являются митинги, забастовки, пикетирования. Стратегию соуправления

³ Федеральный закон «О территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации» от 7 мая 2001 г. № 49-ФЗ. URL: <http://base.garant.ru/12122856/>

⁴ Положение о государственном природном ландшафтном заказнике краевого значения «Верхнебикинский», утвержденное постановлением Администрации Приморского края от 28.07.2008 № 169-па.

⁵ Международная торговая палата Канады. ICC Canada, 2002.

противопоставляют государственному и промышленному подходу, когда решение принимается государством на основании государственных интересов или интересов промышленных компаний. При применении стратегии соуправления предполагается активное участие местных общин⁶ в процессе принятия решений.

П. Маккони выделяет три типа соуправления: консультативное (при котором происходит взаимодействие между правительством и обществом, однако окончательное решение принимает правительство), совместное (правительство и заинтересованные участники отношений совместно принимают решения) и делегирование (правительство позволяет официально принимать решения) [12].

В разных странах, в зависимости от режима и состояния общества, существуют различные системы соуправления.

В российских условиях наиболее возможным является консультативное соуправление, в лучшем случае – совместное. В силу определенных законодательных условий делегирование достаточных полномочий нереально, поскольку решения о создании каких-либо ООПТ возможны только со стороны органов власти в России.

Сам процесс соуправления включает в себя разделение ответственности за ресурсное администрирование между правительственными органами и другими пользователями ресурсов, а также разделение власти между пользователями ресурсов и правительственными органами, когда возможно участие пользователей в принятии решений. Для достижения результатов необходимы научные исследования, которые смогли бы выявить различные интересы участников, а также выработать определенные рекомендации.

Новые институты, созданные в результате применения стратегии соуправления, примиряют противоположные цели институтов доминирующего и традиционного обществ.

Выделяют два варианта соуправления: первый предполагает формальное соглашение между сторонами, с указанием прав, обязанностей и процедур, второй – когда каждое решение принимается в зависимости от конкретной ситуации [10].

Система соуправления первого типа в России есть: осуществляется информирование местных жителей о том, что будет происходить на территории их проживания: так, при принятии решений о промышленном освоении должны проводиться экологическая экспертиза или оценка воздействия на окружающую среду. Иногда ограничиваются общественными слушаниями, однако очень часто мнение местных жителей учитыва-

ется лишь формально, и, как правило, их ставят перед фактом.

Во время полевых исследований в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа в поселке Атипаюта местные жители говорили о том, что несмотря на опрос, проведенный перед строительством газопровода, решение принимали бы в любом случае вне зависимости от того, как проголосуют местные жители⁷.

Сам процесс соуправления (ко-менеджмента) разделяется на несколько этапов [15], необходимо определить, насколько осуществимы все эти стадии в российских условиях.

Подготовительный этап заключается в обозначении проблемы, когда возникает необходимость применения стратегии соуправления: фактически, ситуация, в которой участники различных общественных отношений преследуют свои интересы, требует использования стратегии соуправления.

На первом этапе ведутся переговоры, на втором – принимаются решения, на третьем – осуществляется контроль решений.

В рамках данного подхода принимают решения не только государственные структуры, но и другие участники, интересы которых затрагиваются в процессе переговоров. В основе стратегии соуправления коренных народов лежит принципиальное положение о том, что традиционные знания коренных народов имеют особое значение при принятии решений в местах их проживания и ведения хозяйственной деятельности, потому они должны учитываться помимо государственных интересов [14].

Основной задачей системы ко-менеджмента на уровне государства является передача функций развития органам местной власти. Решение должно приниматься не только на федеральном уровне, но и на локальном при поддержке местного населения⁸.

Особенностью изменений институтов является то, что часто принятие формальных институтов – законов, постановлений, уставов, положений – значительно опережает реальные изменения неформальных институтов, которые определяют, как на самом деле живут люди, поскольку неформальные институты являются консервативными [4]. Хорошо разработанное законодательство в области коренных малочисленных народов не гарантирует того, что оно будет осуществляться на практике, однако сам факт формирования в системе права законов, которые декларируют защиту прав коренных малочисленных народов, говорит об определенных изменениях в обществе: отмена положений,

⁷ Бочарникова А. В. Собственные наблюдения в Ямало-Ненецком автономном округе в 2012 г.

⁸ Goetze T.C. Sharing the Canadian Experience with Co-Management: Ideas, Examples and Lessons for Communities in Developing Areas. Research paper. International Development Research Centre, 2004.

⁶ Совместное управление в Арктике: примеры Канады, Аляски и Скандинавских стран. М., 2008.

которые должны были способствовать защите прав коренных народов, говорит о сдвиге в курсе политики.

Таким образом, соуправление возникает, когда различные стороны преследуют разные интересы, и бывает трех типов (консультативное, совместное и делегирование). В России, как правило, существует соуправление первого и второго типов. Система соуправления состоит из нескольких этапов, включающих обозначение проблемы (подготовительный этап), ведение переговоров (первый этап), принятие решений (второй этап), контроль за осуществлением решений (третий этап).

ПРИМЕНЕНИЕ СТРАТЕГИИ СОУПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

Идея о необходимости использовать опыт коренных малочисленных народов для практических целей возникла из концепции традиционных знаний (local ecological knowledge).

Зарубежные авторы, такие как Л. Оутейро и К. Гарддо, предлагают разделение между традиционными экологическими знаниями (traditional ecological knowledge), местными экологическими знаниями (local ecological knowledge), знаниями коренных малочисленных народов (indigenous, aboriginal ecological knowledges) в зависимости от того, кто был источником этих знаний [15].

Если речь идет о соуправлении при участии коренных малочисленных народов, фактически традиционные знания существуют в рамках определенных институтов, которые представляют правила поведения, регулирующие отношения в обществе [4].

Отношения между местными жителями и администрациями национальных парков часто являются достаточно сложными. М. Кардозо описывает негативное отношение коренных жителей к созданному Национальному парку Алпахая Мишана в Перуанской Амазонке: если местные лидеры сообщества, в основном и только после того, как убедились в том, что переселять их не будут, не возражали против создания Национального парка, половина местных жителей относится к созданному в 2004 г. парку отрицательно [9]. В данном случае можно сделать вывод об отсутствии системы соуправления в данном регионе.

Пример применения стратегии соуправления описывается в статье [3], где рассмотрена организация мониторинга популяций морских млекопитающих на восточной Чукотке, когда данные о китах поставляли морские охотники. В 1991 г. кооператив «Наукан» заключил соглашение с правительством Аляски и Департаментом управления биологическими ресурсами договор, по которому сотрудники кооператива наблюдали за китами в море. Местные жители участвовали в проекте, поскольку в связи с отсутствием данных

о численности китов была угроза запрета китобойного промысла морской комиссией, при этом для проведения научных мероприятий не было достаточного финансирования. Полученные данные позволили обосновать необходимость выделения квот на добычу кита. Инициаторами движения к совместному управлению ресурсами морских млекопитающих было первое совместное предприятие коренных жителей Чукотки «Наукан». С 1995 г. «Наукан» начинает взаимодействовать с другими предприятиями Чукотского района и Обществом эскимосов Чукотки «Юпик». Местные жители работали на наблюдательных постах, а охотникам оказали финансовую помощь, которая сделала возможным продолжение занятия традиционными промыслами.

В первом примере стратегия соуправления не используется, в то время как во втором примере есть успешный вариант применения стратегии соуправления, когда местные жители осуществляют наблюдения, эти данные исследуются учеными.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТРАТЕГИИ СОУПРАВЛЕНИЯ

При разработке хозяйственной стратегии, в которой задействуются коренные малочисленные народы Дальнего Востока, необходимо применять их опыт.

В конце XIX в., когда В.К. Арсеньев приехал на Дальний Восток, он описал три категории населения, стратегии хозяйственной деятельности которых значительно различались [2]:

1) коренное население, состоящее из удэгейцев, нанайцев, гольдов и тазов (тазы были потомками браков китайцев с аборигенками), группы населения, которые не были ассимилированы китайцами, вели полукочевой образ жизни, тогда как ассимилированные занимались земледелием, скотоводством [7];

2) китайцы, корейцы, маньчжуры – часть из них жила оседло, занимаясь хлебопашеством, часть – «таежными промыслами»: сбором корня женьшеня, заготовкой пушнины, прежде всего соболя, сбором древесных грибов [1];

3) русские переселенцы – казаки, старообрядцы, крестьяне, занимались земледелием, преимущественно переложной системой, лесозаготовками, охотой и рыболовством.

В конце XIX в. коренные малочисленные народы контактировали как с русскими, так и с китайцами, корейцами и маньчжурами. Вместе с традиционной хозяйственной деятельностью менялись и запреты на дополнительное использование ресурсов: если раньше удэгейцы и нанайцы не охотились в определенные периоды, во время размножения животных, то с необходимостью обмена сроки охоты увеличивались, использовалось огнестрельное оружие, местные жители были заняты вспомогательными видами хозяйственной деятельности [6].

Поскольку в исследованном регионе был только один казачий поселок Васильевский, а старообрядцы были репрессированы, при изучении традиционных знаний рассматривались только коренные малочисленные народы Дальнего Востока [5]. Общей тенденцией для них оказалась утрата традиционных знаний. Более того, традиционная система природопользования была сильно трансформирована в советское время, когда местное население стало работать в колхозах и совхозах.

Система соуправления может осуществляться только при активном участии местных жителей.

В данном случае в модельном регионе до создания Национального парка участниками отношений являются местные жители (жители поселка Красный Яр и лесозаготовительных поселков Лучегорск, Соболиное, Ясеновое, Охотничий, Верхний Перевал), община «Тигр», общественная организация АКМНСС ДВ РФ, государственные структуры различных уровней (Администрация села Красный Яр, Пожарского района, Приморского края, федеральные органы власти, Министерство Природы, Администрация Президента), лесопромышленные компании («ЛесЭкспорт» и другие). Между участниками возник конфликт, связанный с противоречиями между интересами участников отношений.

Лесопромышленные компании становятся активными участниками отношений, начиная с 1970-х гг. XX в., однако первые лесорубы в верховьях бассейна реки Бикин появились только в конце 1980-х гг. Территории в верховьях бассейна реки Бикин на данный момент остались не затронуты промышленными рубками [6].

Начиная с конца 1980-х – начала 1990-х гг. и по 2011 г. происходят постоянные конфликты между лесопромышленными компаниями и местными жителями. Основной причиной конфликта был план проведения лесопромышленными компаниями вырубок на территории, где занимались охотой удэгейцы [5].

С этого периода начинается процесс активных лесопромышленных заготовок, создаются три крупнейших леспромпхоза: Лучегорский, Среднебикинский и Вяземский, которые заготавливали более 1 млн кубометра пригодной древесины. На деле прирост не покрывал того ущерба, который приносила лесозаготовительная деятельность. Именно в это время начинается масштабное сокращение площадей и запасов хвойных деревьев, в особенности кедра. Вырубки привели не только к сокращению площадей леса, но и к нарушению водного режима реки Бикин, особенно сказывался сплав леса по реке, ежегодно сплавлялось по 220 тыс. м³ древесины.

В конце 1980-х гг. в связи с развалом СССР удэгейцы оказались в очень трудном положении. Из-за сокращения животных и рыбных ресурсов только единицы из числа абorigенов могли получить лицензии

на бесплатный отстрел животных, а рыболовство сетями было запрещено, и запрет на индивидуальный вылов рыбы привел к браконьерству. Наиболее благополучной, по сравнению с другими районами, была ситуация на территории бассейна реки Бикин, где пусть даже прежние анимистические представления утратили свою силу, однако сохранилась традиционная модель природопользования [6].

В 1987 г. для экспорта на Кубу производились вырубки в лесах рек Сукпая и Кафэна. В 1988 г. было принято решение начать вырубки в бассейне реки Самарги и в верховьях реки Бикин. Несмотря на протесты местного населения, было создано территориальное производственное объединение (ТПО) «Приморсклеспром», которое строило лесовозную дорогу Сукпай – Агзу – Самарга.

В советское время преградой для проведения вырубок леса становились лесхозы и местные лесничества. В 1989 г. ситуация резко изменилась: 5.04.1989 был издан приказ Министерства лесной промышленности СССР «О реорганизации всех лесхозов Приморского края и их лесничеств в комплексные леспромпхозы». Объединение природоохранных и ресурсодобывающих структур происходило на региональном уровне.

21.04.1989 «Приморсклеспром» издал приказ об объединении леспромпхозов с лесхозами. После этого производственное объединение «Тернейлес» организовало Самаргинский комплексный леспромпхоз, куда вошли Самаргинское и Агзинское лесничества, таким образом, была создана добывающая организация.

В этой ситуации активность стали проявлять местные жители, для которых вырубка леса угрожала их дальнейшему существованию. В 1990-гг. основными участниками событий стали активисты общественного движения и ученые, которые выступили против деятельности компании.

После сильнейшего протеста местного населения вырубки были перенесены с лесных угодий в верховьях Бикина Пожарского района в Тернейский район Приморского края.

После неудачи на Самарге ТПО «Приморсклеспром» стало разрабатывать проект совместного предприятия «Светлая» с южнокорейской фирмой «Хендэ», которые планировали вырубки в северной части Тернейского района в бассейне реки Светлая и восточной части Пожарского района, где занимались охотой удэгейцы. Ежегодный объем вырубки должен был составить до 1 млн м³, при этом реализация древесины в большей степени предполагалась в зарубежные страны.

Против вырубки лесов выступили местные жители, дальневосточные ученые также высказали сомнение о целесообразности проекта. 27 марта 1990 г. на первой сессии Пожарского районного совета было принято решение запретить деятельность СП «Светлая», а территории передать в пользование коренному населению.

В начале 1990-гг. после протеста местных жителей против вырубок леса началось формальное закрепление данной территории за коренным населением: 22 апреля 1992 г. был издан Указ Президента РФ «О неотложных мерах по защите мест проживания и хозяйственной деятельности малочисленных народов Севера»⁹. Важным положением этого Указа является запрет отчуждения территории, на которой проживает и занимается хозяйственной деятельностью местное население [6].

Последний конфликт произошел в 2011 г., когда в планах вырубок корейской компании «ЛесЭкспорт» оказались верховья реки Бикин. Местные жители и группа активистов собрались на сельском сходе, подписали обращения и организовали митинг в Лучегорске. Требования, которые предъявили участники митинга, касались защиты от вырубки леса: запрет на вырубку на данной территории, создание заказника «Среднеуссурийский» и территории традиционного природопользования федерального значения.

В 2011 г. автором настоящей публикации были проведены полевые работы, во время которых были взяты интервью и опрашивались местные жители поселка Красный Яр. Респонденты единогласно выразили протест против вырубок леса, поскольку в этом случае не будет возможности заниматься охотой и рыболовством. Основным предложением было создать территорию традиционного природопользования коренных малочисленных народов федерального значения или вернуть госпромхоз.

С 2012 г. начался новый этап, связанный с организацией Национального парка «Бикин»: Россия стала участником Программы по восстановлению популяции тигра, а президент РФ выпустил Перечень поручений по вопросам сохранения амурских тигров¹⁰.

Национальный парк был создан при участии представителей коренных малочисленных народов, поскольку была учреждена комиссия, куда вошли представители общественных организаций (общины «Тигр», Ассоциации коренных малочисленных народов Дальнего Востока Приморского края), администрация села Красный Яр. Однако в процессе организации ООПТ стороны не пришли к окончательному согласию: местные жители предлагали создание территории традиционного природопользования коренных малочисленных народов Дальнего Востока федерального значения, в то время как Министерство природы настояло на том, что должен быть создан именно Национальный парк: по последним изме-

нениям закона об «Особо охраняемых природных территориях»¹¹, территория традиционного природопользования коренных малочисленных народов не относится к категории ООПТ.

Когда создавали Национальный парк и согласовывали документы, в обосновании было указано, что в принятии решений принимали участие представители коренных малочисленных народов, жители поселков, находящихся на территории недалеко от Национального парка: Лучегорска, Красного Яра, Соболиного, так же как и представители общественных организаций (Ассоциации коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока (АКМНСС ДВ РФ) Приморского края, общины «Тигр», на территории которой осуществлялась экономическая деятельность), а исполнение было переложено на ученых ТИГ ДВО РАН и Всемирный фонд дикой природы (WWF).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретические разработки дают разделение на три вида систем соуправления: консультативное, совместное и делегированное; если консультативное и совместное существуют в России, то делегированного не бывает.

Отечественный и зарубежный опыт подтверждает, что применение стратегии соуправления делает эффективным управление территорией, на которой занимаются традиционным природопользованием коренные малочисленные народы. Успешным вариантом может быть сочетание институтов традиционного общества, источником которых являются коренные народы, и институтов доминирующего общества, которые образованы государством.

Анализ ситуации в долине реки Бикин показал, что в данном случае применение стратегии соуправления было необходимым, так как различные участники отношений преследовали противоположные интересы.

Совмещение теоретических разработок с аналитической ситуацией позволяет сделать следующие выводы: в России осуществляется переходный тип между консультативным и совместным типами соуправления, поскольку окончательное решение о необходимости создания Национального парка в долине бассейна реки Бикин принимали Администрация Президента и Министерство природы, однако в процессе создания участвовала рабочая группа, в которую входили представители коренных малочисленных народов Дальнего Востока.

Создание Национального парка «Бикин» является адаптацией институтов, регулирующих традицион-

⁹ Указ Президента РФ «О неотложных мерах по защите мест проживания и хозяйственной деятельности малочисленных народов Севера». Официальный сайт Кремля. URL: www.kremlin.ru/acts/bank/1216 (дата обращения: 10.12.2016).

¹⁰ Перечень поручений по вопросам сохранения амурских тигров и дальневосточных леопардов. Официальный сайт Кремля. URL: <http://kremlin.ru/acts/assignments/orders/19596> (дата обращения: 08.11.2016).

¹¹ Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 406-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “Об особо охраняемых природных территориях” и отдельные законодательные акты Российской Федерации». Сайт Российской газеты. URL: <https://rg.ru/2013/12/30/oxrana-dok.html> (дата обращения: 10.11.2016).

ное природопользование коренных малочисленных народов Дальнего Востока, к современным условиям.

По сравнению с зарубежными странами, где возможно совместное соуправление или делегирование, в стратегии соуправления в России местные жители в меньшей степени участвуют в принятии решения, более того, порядок их участия определяется сверху – именно Правительство назначает создание Комиссии,

частью которой являются представители коренных народов, а окончательное решение, какой именно будет созданная территория, выносит Правительство. Таким образом, существующая система соуправления помогает разрешить конфликт между лесопромышленными компаниями и местными жителями, но не противоречия по поводу Национального парка между Администрацией ООПТ и местными жителями.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Арсеньев ВК. Китайцы в Уссурийском крае: очерк историческо-этнографический. Хабаровск: Типография Канцелярии Приамурского генерал-губернатора; 1914.
2. Арсеньев ВК. Лесные люди удэгейцы. Владивосток: Книжное дело; 1926.
3. Клоков КБ. Современное состояние биологическо-ресурсной базы и экологические основы управления биоресурсами в традиционном природопользовании Российского Севера. В кн.: Обычай и закон. М.: Стратегия; 2002. с. 21-45.
4. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. М.: Начала; 1997.
5. Паничев АМ. Бикин. Тайга и люди. Владивосток: Изд-во ДВГТУ; 2005.
6. Старцев АФ. История социально-экономического и культурного развития удэгейцев (середина XIX–XX вв.). Владивосток: Изд-во ДВГТУ; 2000.
7. Тураев ВА. Исторические последствия этнокультурных контактов на российском Дальнем Востоке. Россия и АТР. 2012; (3):126-37.

Общий список литературы/Reference List

1. Arsenyev VK. Kitaytsy v Ussuriyskom Kraye: Ocherk Istoricheskoe-etnograficheskij. Khabarovsk: Tipografiya Kantselyarii Priamurskogo Gegeneral-Gubernatora; 1914. (In Russ.)
2. Arsenyev VK. Lesnye Lyudi Udekheytsy. Vladivostok: Knizhnoye Delo; 1926. (In Russ.)
3. Klokov KB. [The present-time conditions of biological resources and the ecological foundations of bioresources management in the traditional; nature management in the North of Russia]. In: Obychay i Zakon. Moscow: Strategiya; 2002. p. 21-45. (In Russ.)
4. Nort D. Instituty, Institutsionalnye Izmeneniya i Funktsyonirovaniye Ekonomiki. Moscow: Nachala; 1997. (In Russ.)
5. Panichev AM. Bikin. Tajga i Liudi. Vladivostok: Izdatelstvo DVG TU; 2005. (In Russ.)
6. Startsev AF. Istoriya Sotsialno-Ekonomicheskogo i Kulturnogo Razvitiya Udegeytssev (Seredina XIX–XX vv.). Vladivostok: Izdatelstvo DVG TU; 2000. (In Russ.)
7. Turayev VA. [Historical aftermath of ethnocultural contacts in Russian Far East]. Rossiya i ATR. 2012;(3):126-37.
8. Borrini-Feyerabend G, Taghi Farvar M, Nguingui JC, Ndangang VA. Co-management of Natural Resources: Organizing, Negotiating and Learning by Doing. Heidelberg: Kasperek Verlag; 2007.
9. Cardozo M. Economic displacement and local attitude towards protected area establishment in the Peruvian Amazon. Geoforum. 2011;(42):603-14.
10. Caufield R. Political Economy of Renewable Resources. In: Nuttall M and Callaghan TV (Eds). The Arctic: Environment, People, Policy. Amsterdam: Overseas Publishers Association N. V.; 2000.
11. Commons JR. The Economies of Collective Action. New York: Macmillan; 1950.
12. McConney P, Mahon R, Pomeroy R. Challenges Facing Coastal Resource in Co-Management in the Caribbean. In: Armitage D, Berkes F, Doubleday N (Eds.). Adaptive Co-Management. Vancouver: UBC Press; 2008. p. 105-25.
13. Mitchell WC. Commons on institutional economics. Amer Econ Rev. 1935;25(4):635-52.
14. Osherenko G. Sharing Power with Native Users: Co-Management Regimes for Native Wildlife. Ottawa: Canadian Arctic Resources Committee; 1988.
15. Outeiro L, Gajardo C, Oyarzo H, Ther F, Cornejo P, Villasante S, Bas Ventine L. Framing local ecological knowledge to value marine ecosystem services for the customary sea tenure of aboriginal communities in southern Chile. Ecosystem Services. 2015;(16):354-64.
16. Veblen T. The Theory of the Leisure Class, In: Grusky D.B. (Ed.) Social Stratification. Class, Race, and Gender in Sociological Perspective. Boulder: Westview Press; 2008. p. 862-70.
17. Wilson GA, Bryant RL. Environmental Management: New Directions for the Twenty-First Century. London: UCL Press; 1997.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ АСПЕКТЫ ИММУНИТЕТА РАСТЕНИЙ И ИХ КОЭВОЛЮЦИИ С НАСЕКОМЫМИ

А.В. Конарев

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: alv-konarev@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 09.02.2017; принята к печати 05.03.2017

Огромное разнообразие растений и насекомых является результатом их коэволюции на протяжении сотен миллионов лет. Необходимость защиты тканей и органов, а также хранящихся в них энергетических и пластических материалов от фитофагов привела у растений к появлению многообразных и изощренных механизмов иммунитета. Наличие сложнейших поведенческих реакций, в том числе способности к выбору кормового растения по биохимическим, морфологическим и иным признакам и высокоорганизованной пищеварительной системы, и многие другие особенности насекомых-фитофагов обусловили у растений формирование механизмов иммунитета, в значительной мере независимых от механизмов иммунитета к фитопатогенным микроорганизмам. При этом защитные реакции растений против вредителей и патогенов могут быть сходными на молекулярном уровне передачи сигнала и запуска ответных реакций. Задействованные при этом гормональные системы могут взаимодействовать в антагонистической или синергетической манере, а фитофаги – как микроорганизмы, так и насекомые – способны с помощью эффекторов встраиваться в это взаимодействие для своей выгоды. Очень важна химическая составляющая защитных систем растений, охватывающая практически все классы вторичных метаболитов, которые оказывают прямое токсическое, репеллентное, антипитательное или иное негативное воздействие на фитофагов или привлекают энтомофагов. Широкий перечень механизмов их действия – от разрушения клеточных мембран до повышения затрат энергии и ресурсов на усвоение пищи. Разнообразны и механизмы обезвреживания защитных соединений растений насекомыми. В природной системе «растение-насекомое» каждый из ее элементов представляет собой сообщество разнообразных организмов. Симбионты, паразиты и патогены влияют на взаимодействие растений и насекомых и вовлечены в их коэволюцию. При создании форм растений, устойчивых к вредителям, важно учитывать возможные последствия применения того или иного защитного механизма в отношении не только отдельных особей, но также популяций вредителей и агроэкосистемы в целом. Использование механизмов, не стимулирующих ускоренную микроэволюцию вредителей, оказывает более щадящее воздействие на экосистему. В роли таких защитных факторов могут выступать, например, белковые ингибиторы пищеварительных ферментов насекомых. Понимание закономерностей коэволюции растений и насекомых и молекулярной природы адаптации фитофагов к защитным соединениям является необходимым условием для создания эффективных форм растений, устойчивых к вредителям.

Ключевые слова: иммунитет растений к насекомым, коэволюция растений и насекомых, протеиназы, α -амилазы, ингибиторы.

MOLECULAR ASPECTS OF PLANT IMMUNITY AND THEIR COEVOLUTION WITH INSECTS

A.V. Konarev

All-Russia Research Institute of Plant Protection, Saint Petersburg, Russia

E-mail: alv-konarev@yandex.ru

The immense variety of plants and insects has developed by their coevolution over hundreds millions years. The need to protect plant tissues and organs and of energy and building resources stored therein was the driving force of the development of numerous and sophisticated mechanisms of plant immunity. Because of complex behaviors of phytophagous insects, including their abilities to choose nutritional plants according to their biochemical, morphological and other features, and due to elaborate digestive systems, as well as many other characteristics, the mechanisms of plant immunity against insects are largely independent from those against microorganisms. However, at the level of the molecular mechanisms of signal transduction and response triggering, the modalities of plant protection against insects and microorganisms have much in common. Plant hormonal systems involved in the protective responses may interact in synergetic and antagonistic manners, and insects and microorganisms may interfere with these interactions for their benefit. In this regard, the chemical components of plant protective mechanisms, including virtually all classes of secondary metabolites, are important either by producing direct toxic, repellent, anti-nutritive and/or other deleterious effects on phytophages or by attracting entomophages. The numerous mechanisms of the effects of these substances range from destruction of cell membrane to increasing the cost of food assimilation. No less diverse are the means used by insects to neutralize substances used by plants for self-protection. In natural plant-insect systems, each of system parts is represented by communities of different organisms. Symbiotic, parasitic and pathogenic organisms are all involved in plant-insect interactions and coevolution. In developing of plant cultivars resistant to pests, it is important to account of possible consequences of the operation of a particular protective mechanism for the entire complex of interactive organisms in an agricultural system, not only for a particular species. Measures that do not accelerate the microevolution of pests are likely to produce more gentle effects of ecosystems. Such measures may include, e.g., those based on the inhibitors of digestive enzymes in insects. Better understanding of the coevolution of plants and insects and of the molecular nature of the adaptation of phytophages to plant-protecting substances is essential for developing pests-resistant cultivars.

Keywords: plant immunity against insects, coevolution of plants and insects, proteinases, α -amylases, inhibitors.

Введение

До трети урожая сельскохозяйственных культур в мире теряется из-за вредных насекомых [1, 12, 107]. Если сюда прибавить потери от болезней, то становятся вполне понятным и обоснованным расходование огромных экономических, энергетических и иных ресурсов на организацию защиты растений от биотических факторов. Чрезмерное применение химических методов борьбы с вредными организмами оказало пагубное воздействие на окружающую среду, что привело к осознанию необходимости повышения роли других подходов, в том числе более широкого использования экологически безопасных природных защитных механизмов растений. Это нашло отражение в популярной в последние годы концепции интегрированной защиты растений, одна из главных целей которой состоит в обеспечении фитосанитарного благополучия территорий при минимальном использовании пестицидов. Наряду с постоянным мониторингом вредных организмов и определением порога их вредоносности, превышение которого требует вмешательства фермера, а также вместе с различными механическими, агротехническими и биологическими приемами борьбы такая защита включает предпочтительное использование сортов сельскохозяйственных культур, устойчивых к вредителям и болезням.

Для стабилизации агроэкосистем без массированного применения химических средств борьбы устойчивые к вредным организмам сорта должны занимать не менее 70–80% посевных площадей, тогда как в нашей стране доля этого важного и безопасного для окружающей среды ресурса повышения урожайности составляет лишь около 10% [1, 12]. В мировой практике есть отдельные примеры эффективного применения устойчивых к вредителям форм в системах защиты растений, позволившие свести к минимуму их химическую составляющую: например, в Юго-Восточной Азии на огромных территориях широко внедряются сорта риса, устойчивые к целому ряду основных вредителей и болезней и отличающиеся высокой толерантностью к различным стрессам [26]. Тем не менее, при наличии определенных успехов в отношении устойчивости к болезням устойчивость к вредителям еще слабо интегрирована в системы защиты большинства сельскохозяйственных культур. Отчасти это связано с недостаточной эффективностью защитных механизмов, применявшихся при создании устойчивых сортов, или с низкой урожайностью устойчивых форм. Очевидно, что решение таких проблем возможно лишь при сотрудничестве специалистов из разных дисциплин. Необходимо сочетание традиционного подхода с его упором на естественные защитные механизмы и нового подхода, включающего достижения современной биологии, основанные на знании важных деталей взаимодействия растений с насекомыми и микроорганизмами.

В настоящее время ставшие уже классическими представления о барьерах иммуногенетической системы растений – атрептическом (деполимеризационном), морфологическом, ингибиторном и других [1, 2] – дополняются и подкрепляются данными биохимии, генетики и молекулярной биологии.

ХИМИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ РАСТЕНИЙ И МЕХАНИЗМЫ ЕЕ ПРЕОДОЛЕНИЯ НАСЕКОМЫМИ

Растения и насекомые-фитофаги вносят наибольший вклад в биоразнообразие живых немикробных организмов на земле. Имеющиеся сведения указывают на то, что без высокого разнообразия защитных факторов растений не было бы нынешнего видового разнообразия насекомых, по крайней мере, в тропической зоне. В свою очередь, без специализации насекомых не было бы высокого разнообразия растений [22].

Алкалоиды, терпены и другие защитные соединения, выработка которых растениями явилась в значительной мере следствием их коэволюции с насекомыми, оказывают влияние и на других участников биоценозов – млекопитающих, птиц и др., что проявляется в предпочтениях при выборе растительной пищи, возможности усваивать ее, а также сказывается на физиологии и поведении, в том числе у человека (кофеин, теобромин, кокаин, морфин, никотин, каннабиноиды и др.) [57, 64]. Обнаружено сходство эффектов, оказываемых на поведение насекомых и человека некоторыми из указанных соединений.

Понимание сложных механизмов действия и противодействия, выработанных насекомыми и растениями за миллионы лет коэволюции, необходимо для выяснения природы иммунитета растений и создания их устойчивых форм с использованием современных, безопасных для окружающей среды подходов.

Очень важна химическая составляющая защитных систем растений, охватывающая практически все классы вторичных метаболитов, оказывающих прямое токсическое, репеллентное, антипитательное или иное негативное воздействие на фитофагов или, например, привлекающих энтомофагов. Среди них – алкалоиды, цианогенные гликозиды, терпеноиды, глюкозинолаты, макромолекулярные компоненты латекса, вещества белковой природы – лектины, ингибиторы пищеварительных α -амилаз, протеиназ и других гидролаз, а также защитные пептиды. Широк и перечень механизмов их действия – разрушение клеточных мембран, ингибирование транспорта питательных веществ и ионов через мембраны, блокирование процессов передачи сигнала по растению, подавление метаболизма, нарушение гормонального контроля физиологических процессов [86], повышение затрат ресурсов и энергии на усвоение пищи и другие [27].

Механизмы обезвреживания защитных токсинов растений насекомыми включают избегание поглощения токсинов или контакта с ними, выведение их из своего организма и подавление их синтеза в растении [87]. Устойчивость к растительным токсинам включает как метаболические, так и поведенческие реакции. Многие из этих механизмов задействованы в детоксикации как природных метаболитов растений, так и химических инсектицидов, предназначенных для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур. Устойчивость насекомых к некоторым аллелохимическим соединениям может сопровождаться устойчивостью (резистентностью) к инсектицидам с близкой химической природой [36].

Накопленные в последнее время данные о механизмах преодоления указанных защитных барьеров растений насекомыми расширяют представления о фундаментальных аспектах коэволюционной адаптации этих организмов. Значительный вклад в понимание таких механизмов внесли исследования по искусственным пестицидам [56]. Многие токсичные для насекомых соединения из растений (фуранокумарины, госсипол и т. д.) инактивируются при участии ферментов группы цитохромов P450, а УДФ-гликозилтрансферазы переводят разнообразные нежелательные для фитофагов липофильные соединения типа капсаицина перца или бензоксаиноидов кукурузы в водорастворимую форму, более пригодную для выделения из организма или изоляции. Образование аллельных вариантов и дупликация генов, кодирующих указанные ферменты, неравный кроссинговер, повышенная экспрессия и изменение числа копий генов позволяют насекомому приобретать новую или оптимизировать имеющуюся энзиматическую активность и тем самым обеспечивать себе адаптацию к изменяющемуся химическому составу пищи.

Некоторые виды насекомых приобрели способность питаться на видах растений, токсичных для других, благодаря изменениям структуры и функций собственных ферментов, последовавших за дупликацией исходных генов, которые их кодируют [127, 131], или в результате мутаций, приводящих к точечным заменам отдельных аминокислот и делавших данных фитофагов невосприимчивыми к определенным защитным соединениям растений, примером чему могут быть Na/K-АТФазы некоторых бабочек, с одной стороны, и производные сердечных гликозидов (карденолиды) растений, с другой [37]. Возможно предотвращение контакта карденолидов с нервной системой насекомых [98]. Отдельные виды бабочек и прямокрылых даже накапливают в своем теле полученные с пищей карденолиды растений, что делает их ядовитыми для хищников.

Недавно выяснилось, что способность некоторых растительоядных клещей и чешуекрылых успешно

развиваться на растениях, защищенных цианогенными гликозидами, обусловлена ферментами из семейства цистеинсинтаз, приобретенными членистоногими от бактерий в результате горизонтального переноса генов. Фермент, изначально вовлеченный в биосинтез серосодержащих аминокислот у бактерий, обеспечил членистоногим возможность инактивации синильной кислоты, образующейся из гликозидов [132]. Особенности механизмов химической защиты тех или иных видов растений оказывают существенное влияние на состав и структуру связанных с ними сообществ членистоногих фитофагов [99]. Например, генотипы с высоким уровнем химической защиты, специфической для данного семейства растений, дают прибежище преимущественно узкоспециализированным фитофагам, тогда как генотипы с низким содержанием защитных метаболитов привлекают в основном виды с широкой специализацией. Ценой такой адаптации для узкоспециализированных видов фитофагов является потеря способности питаться на других видах растений, составляющих большинство в природных биоценозах. Нередко такие виды используют эти специфические защитные соединения для поиска кормовых растений, тогда как эти же соединения могут отпугивать фитофагов с широкой специализацией.

СИМБИОТИЧЕСКИЕ МИКРООРГАНИЗМЫ И КОЭВОЛЮЦИЯ НАСЕКОМЫХ И РАСТЕНИЙ

Накопленные за последние годы сведения позволяют внести коррективы в представления о системе «растение-насекомое» как о взаимодействии двух организмов. На самом деле каждая из сторон этой системы состоит из сообществ разнообразных организмов, включая паразитов и симбионтов, так или иначе влияющих на взаимодействие основных компонентов данных сообществ и вовлеченных в их коэволюцию. Бактерии и грибы, живущие в растениях (эндофиты), вносят свой вклад в обеспечение их устойчивости к вредным организмам, а также к другим неблагоприятным воздействиям, в частности, гербицидам [15, 16, 120]. Эндофиты могут непосредственно обезвреживать вредные для растения соединения или запускать в растении механизмы, повышающие его толерантность. Имеющиеся сведения позволяют, с определенной долей условности, рассматривать эндофитные микроорганизмы как один из элементов иммунной системы растений. Например, эндофитные грибы, состоящие в мутуалистических взаимоотношениях с райграсом и другими пастбищными злаками, с помощью нерибосомальной пептидсинтетазы продуцируют перамин. Этот пирролопипразин, являясь сильным пищевым детергентом (агентом, вызывающим отвращение), защищает растения от опасного вре-

дителя – аргентинского долгоносика (*Listronotus bonariensis* Kuschel) [118]. Уже детально охарактеризованы гены эндофитных грибов, ответственные за синтез алкалоидов, которые придают устойчивость кормовым злакам к ряду видов жуков, тлей и чешуекрылых. В Новой Зеландии и Австралии для повышения продуктивности пастбищ успешно используют соответствующие штаммы эндофитов, которые созданы с привлечением новейших биотехнологических методов и у которых в то же время понижено содержание соединений, вредных для млекопитающих [100].

Организмы, ассоциированные с фитофагами, могут модифицировать реакцию растения на нападение последних как непосредственно, вмешиваясь в пути передачи сигнала, подавляя экспрессию генов, связанных с защитой, или меняя вторичный метаболизм растения, так и опосредованно, путем воздействия на поведение и физиологию самого фитофага [137].

Если прежде биохимические адаптации к токсинам растений привязывались исследователями к работе генома насекомого, то сейчас все большее внимание в этой сфере привлекают микробные симбионты, обитающие в кишечнике. Уже находят подтверждение предположение о том, что изменчивость фитофагов по способности питаться растениями, защищенными различными веществами вторичного метаболизма, отчасти определяется изменчивостью ассоциированных с ними микробных сообществ. Данные сообщества могут различаться по способности составляющих их микроорганизмов обезвреживать токсины растений или по устойчивости к антимикробному действию таких токсинов. Множатся подтверждения гипотезы о важной роли микробных сообществ в диверсификации насекомых-фитофагов и коэволюции последних с растениями [54].

В свою очередь, «метаболическая» коэволюция насекомых фитофагов с симбиотическими микроорганизмами существенно расширила набор доступных для них источников пищи. Микроорганизмы, населяющие клетки, кишечник или поверхность тела насекомых, могут обеспечивать последним более эффективное усвоение биополимеров растения и снабжение незаменимыми компонентами пищи, а также обезвреживать токсины, продуцируемые растением [55]. Подавление эндосимбионтов, населяющих пищеварительный тракт насекомых, может быть одним из защитных механизмов растений, причем в этом процессе могут участвовать и эндосимбионты растений [10].

Более сложная ситуация может наблюдаться в случае внутриклеточных симбионтов. Насекомые, питающиеся соками растений (тли, цикадки, белокрылки и другие Hemiptera), содержащими очень ограничен-

ный набор питательных веществ, сумели компенсировать недостаток важнейших компонентов пищи – незаменимых аминокислот, витамина В и т.д. – за счет внутриклеточных симбиотических бактерий, ассоциация с которыми произошла более 100 миллионов лет назад. В результате перераспределения важнейших генов между внутриклеточными симбионтами и насекомыми геномы первых оказались сильно редуцированными, а вторые не ограничились лишь использованием экспрессии генов симбионтов, но также обогатили свой геном за счет горизонтального переноса недостающих или более эффективных генов от экзогенных бактерий [78]. По-видимому, по аналогии с другими микроорганизмами, обитающими в клетках насекомых, например, энтомопатогенными микроспоридиями [5, 124], можно предположить, что внутриклеточные симбионты вредителей, сосущих флоэмный сок, лучше защищены и менее подвержены внешним воздействиям, например, со стороны кормового растения.

СПЕЦИФИЧНОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСТЕНИЙ С ЧЛЕНИСТОНОГИМИ ФИТОФАГАМИ

В иммунологии растений еще не сформировались окончательно представления о степени специфичности взаимодействия в системе растение-вредитель и о том, существуют ли здесь взаимодействия типа «ген на ген», как это установлено для системы «растение-патоген». Однако это направление интенсивно развивается. Растет число работ, посвященных выявлению, анализу и картированию генов устойчивости к вредителям. У многих сельскохозяйственных культур уже идентифицированы десятки генов устойчивости к насекомым, а также молекулярных маркеров, облегчающих использование генов устойчивости при создании новых форм растений, например, генов устойчивости пшеницы к вредной черепашке [42]. Идентифицированы и конечные продукты некоторых генов, а также определяемые ими эффекты в отношении вредителей – антибиоз или антиксеноз, и самого растения – толерантность [113]. Интересно, что антибиоз сам по себе или в сочетании с другими эффектами был результатом действия более 90% выявленных генов. Среди немногих известных продуктов конкретных генов устойчивости к насекомым значатся токсичный белок арселин у фасоли, гликоалкалоид лептин у картофеля, а также бензоксизиноид DIMBOA, флавоноид маизин, элементы структуры клеточных стенок и цистеиновая протеиназа у кукурузы. В свою очередь, микросателлитные маркеры могут способствовать селекции, например, фасоли, на устойчивость к повреждающим зерно долгоносикам, основанную на защитных свойствах арселина [25].

Пока лишь немногие гены устойчивости растений к вредителям были секвенированы. Наиболее яркие

примеры – гены Mi-1.2 из томата и Vat из огурца, продукты экспрессии которых, обеспечивающие устойчивость растений к ряду видов насекомых, включая тлей, оказались представителями обширной группы белков, имеющих суперспиральные (coiled coil, CC) нуклеотид-связывающие (nucleotide-binding site, NBS) и богатые повторами лейцина (leucine-repeat rich, LRR) домены и обозначаемых как CC-NBS-LRR-белки. Участие таких белков растений, являющихся продуктами R-генов, в формировании устойчивости к патогенам хорошо изучено [83] и указывает на сходство ряда фундаментальных механизмов иммунитета растений по отношению к насекомым и микроорганизмам. Интересно, что и у млекопитающих есть белки, участвующие в иммунных реакциях и имеющие LRR-домен и домен, обозначаемый как NOD (nucleotide-binding oligomerization domain). Точная роль NBS-LRR-белков у растений до конца не ясна. Известно, что они расположены в цитоплазме или недалеко от клеточной мембраны, и есть основание полагать, что с их помощью отслеживается состояние определенных белков, являющихся мишенями для эффекторов, выделяемых патогенами или фитофагами. При обнаружении изменений в данных белках NBS-LRR-белки запускают каскады нескольких, зачастую взаимодействующих между собой защитных реакций. Однако для большинства известных генов устойчивости растений к насекомым конечные продукты еще не определены.

При всех различиях между взаимодействиями насекомых и микроорганизмов с растениями (достаточно упомянуть сложнейшие поведенческие реакции насекомых или важную роль эндосимбионтов в пищеварении) постепенно формируется представление о том, что защитные реакции растений на нападение вредителей и патогенов во многом сходны на молекулярном уровне передачи сигнала и запуска ответных реакций. Много внимания уделяется факторам, вызывающим ответную реакцию. Если для патогенов этот вопрос уже во многом прояснен [14, 96, 121], то понимание таких механизмов у насекомых только формируется. Отправным пунктом является повреждение растения насекомыми при питании, однако разные вредители (например, чешуекрылые, трипсы или тли) повреждают ткани неодинаково, соответственно неодинаковы и формирующиеся сигнальные соединения. Помимо молекулярных фрагментов тех или иных поврежденных клеточных структур растения, ассоциированных с повреждением, – олигосахаридов, пептидов и др., – обозначаемых в зарубежной литературе как DAMPs (damage-associated molecular patterns) по аналогии с PAMPs (pathogen-associated molecular patterns), которые сами по себе являются сигналами к запуску защитных реакций, источниками сигналов могут быть и компоненты секретов

слиюнных желез, продукты частично переваренного растительного материала из верхних отделов пищеварительного тракта, секреты, выделяемые при откладке яиц, и другие продукты жизнедеятельности растительноядных насекомых, обозначаемые как HAMPs (herbivore associated molecular patterns), или их «молекулярные образы». Состав «молекулярных образов» вредителей и способность растений распознавать их определяются особенностями систем «растение-фитофаг» [17]. Однако, хотя уже накоплено немало сведений относительно разнообразных стимуляторов и эффекторов, производимых членистоногими фитофагами, воспринимающие их рецепторы у растений остаются еще слабо изученными.

После восприятия сигналов растение запускает механизмы прямой и непрямой защиты посредством действия гормонов – жасмоновой кислоты, этилена, салициловой кислоты, а также образования активных форм кислорода и так далее. При этом могут запускаться и гормональные механизмы, повышающие выносливость растений.

Считается, что жасмоновая кислота управляет защитными механизмами против преимущественно грызущих насекомых и некротрофных патогенов, а салициловая – против биотрофных патогенов и таких сосущих вредителей, как тли. Гормональные системы могут взаимодействовать в антагонистической или синергетической манере, а фитофаги – как микроорганизмы, так и насекомые – могут встраиваться в это взаимодействие для своей выгоды с помощью эффекторов [32, 67]. Например, продукты жизнедеятельности гусениц кукурузной совки *Spodoptera frugiperda* вначале инициируют накопление в листьях кукурузы жасмоновой кислоты, запускающей каскад защитных реакций против фитофагов, однако затем происходит стимулирование накопления салициловой кислоты, что, с одной стороны, активирует защиту против фитопатогенных микроорганизмов, а с другой – подавляет функционирование жасмонатного пути. В итоге создаются условия, благоприятные для развития гусениц [104]. Возможны и другие, более опосредованные варианты проявления действия сигнальных систем растения. Так, один из штаммов эндофитной бактерии *B. subtilis* стимулирует синтез ингибиторов протеиназ у картофеля, что, помимо прямого воздействия на пищеварительные ферменты колорадского жука [10], теоретически может также угнетать эндосимбиотические микроорганизмы в его кишечнике и тем самым еще более затруднять усвоение пищи вредителем.

В качестве конечных продуктов защитных реакций синтезируются факторы прямой защиты – ингибиторы протеиназ, защитные пептиды, алкалоиды и другие соединения, обеспечивающие как антибиоз, так и антиксеноз (такое влияние растения на фитофага,

которое заставляет его переключаться на другой вид растений), а также ряд летучих соединений непрямого действия, привлекающих энтомофагов и паразитов или препятствующих выбору растения для откладки яиц [65]. Кроме того, в ответ на нападение фитофага растение может активировать физиологические процессы, позволяющие снизить потери, и облегчить прохождение неблагоприятного периода (повысить выносливость), например, за счет связывания сахаров в подземных запасующих органах [110]. Совместное действие факторов прямой и непрямого защиты обеспечивает устойчивость к широкому кругу членистоногих фитофагов в природных экосистемах [58].

Индукцированный иммунитет в определенных случаях может быть энергетически более выгодным для растения, поскольку ресурсы затрачиваются лишь в случае нападения. Однако скорость реакции может оказаться недостаточной. В репродуктивных и запасующих органах наибольшую роль все же играют механизмы конституционального иммунитета. В конечном счете коммерческий успех того или иного устойчивого сорта во многом определяется энергетической ценой задействованных в нем защитных механизмов. Если она чрезмерна, продуктивность окажется низкой [116].

Для того чтобы избежать ненужных расходов ресурсов, растения должны отличать повреждения, вызванные фитофагами, от результатов воздействия ветра, осадков и других внешних факторов. Многие гены, определяющие работу защитных механизмов, могут активироваться как вредителями, так и простым повреждением, однако выработка токсичных метаболитов может принести растению пользу лишь в отношении первых [58]. Использование ДНК-микрочипов позволило выявить гены, которые специфически активировались только при питании насекомых, в частности, выделениями из их пищеварительных органов, что приводило, например, к синтезу никотина [59] или гликозинолатов [85].

Хотя далеко не все стимуляторы защитных реакций растений (элиситоры) пока еще идентифицированы у тлей и других Hemiptera, питающихся флоэмным соком (есть данные, что это могут быть ферменты слюнных желез [138]), защитные реакции растений против таких фитофагов, запускаемые NBS-LRR-белками, которые контролируются R-генами, отличаются от реакций на механическое повреждение. Эту ситуацию можно рассматривать как взаимодействие типа «ген на ген».

По-видимому, для отдельных видов растений и их вредителей относительная роль механизмов конституционального и индуцированного иммунитета может быть неодинаковой. Были проведены эксперименты по избирательному подавлению экспрессии генов, связанных с конституциональной или индуцирован-

ной устойчивостью к вредителям [66, 123], которые подтвердили важную роль обеих форм иммунитета. Уже известны примеры создания экспериментальных форм растений, устойчивых к вредителям, на основе генов, чья экспрессия индуцируется повреждением. Однако следует отметить, что реальные, практически значимые достижения в конструировании сортов, устойчивых к вредителям, достигнуты пока в первую очередь с использованием механизмов конституционального иммунитета, определяющих признаки, не меняющиеся в зависимости от условий.

В последнее время все больше внимания уделяется еще одному относительно недавно открытому фундаментальному молекулярному механизму, который имеет отношение как к регуляции экспрессии генов, так и к внутриклеточному иммунитету практически у всех организмов. Речь идет о РНК-интерференции – механизме подавления экспрессии гена под действием коротких, в том числе двухцепочечных РНК, имеющих участки, комплементарные этому гену или соответствующей информационной РНК [47]. К комплексу интерферирующей и информационной РНК присоединяются клеточные белки, вызывающие разрушение информационной РНК и прекращение трансляции – то есть ген замолкает. По-видимому, исходно этот универсальный для животных и растений механизм был направлен на борьбу с вирусами и другими генетическими паразитами – транспозонами. Интенсивно разрабатываются подходы к его использованию для решения различных задач медицины и биотехнологии, в частности, растений, для перенаправления метаболизма растения с целью снизить или, наоборот, повысить накопление нежелательных или полезных веществ [13]. Применение РНК-интерференции открывает широкие перспективы и для защиты растений от вредителей. Стало возможным отключать определенный ген или комплекс генов у насекомого, что может в итоге либо просто погубить его, либо снизить возможности адаптации к составу корма [34]. Человек фактически только корректирует эту регуляцию. Этот подход может быть применен как посредством генетически модифицированных растений, так и в форме опрыскивания.

ЗАЩИТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ: КРИТЕРИИ ИХ ВЫБОРА ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ УСТОЙЧИВЫХ ФОРМ РАСТЕНИЙ

При конструировании форм растений, устойчивых к вредителям, очень важно учитывать возможные последствия использования того или иного защитного механизма не только в отношении отдельных особей, но также популяций вредителей и агроэкосистемы в целом. В сильно упрощенном виде такие факторы можно подразделить на две группы [3].

1. Ограничивающие питание факторы, такие как доступность компонентов пищи для насекомого, низкая подверженность белков и углеводов действию его пищеварительных ферментов, ингибирование пищеварительных ферментов, разрушение незаменимых компонентов пищи, факторы, препятствующие поеданию растения насекомым (антифиданты), и т. п., обеспечивают ослабление насекомых и усиление их подверженности действию других защитных факторов, а также снижение их численности и вредоносности (синдром «неполного голодания» [1, 2]) при сохранении структуры популяции.

2. Токсические факторы, в том числе и Vt-токсины, обеспечивающие высокую летальность вредителей, стимулируют ускоренную микроэволюцию со сдвигом структуры популяции в пользу резистентных форм, что со временем приводит к снижению эффективности данных защитных факторов.

Таким образом, действие механизмов, приводящих к неполному голоданию, является более мягким и щадящим по отношению к экосистеме и может быть предпочтительным.

В практическом отношении результаты применения методов биотехнологии наиболее заметны на примере Vt-токсинов – токсичных для насекомых белков микробного происхождения. Известно более 100 вариантов Vt-токсинов, отличающихся по эффективности действия на разных насекомых, что позволяет целенаправленно создавать формы растений, устойчивые к определенным вредителям. Однако у этого подхода есть и негативные стороны [117]. Vt-токсины при всем их разнообразии не эффективны по отношению к целым группам важных вредителей, например, полужесткокрылым, и их применение рано или поздно приводит к появлению резистентных форм вредителей. Среди возможных решений – одновременное использование генов более чем одного варианта Vt-токсина (стратегия пирамид), которая, однако, оказалась не всегда эффективной, особенно в случае близкого расположения посевов растений с одним и двумя вариантами гена Vt-токсина. Другие подходы включают использование генов Vt-токсинов в сочетании с генами иных защитных белков, что теоретически должно замедлять появление резистентности, а также расширение набора токсичных белков и всего арсенала методических подходов. Так, при создании форм кукурузы, устойчивых к жуку *Diabrotica*, предлагается использовать токсичный для данного вредителя белок из бактерии рода *Pseudomonas*, механизм действия которого на насекомое совершенно отличен от такового у Vt-токсина [108]. Такой подход выглядит многообещающим, поскольку данный белок не действует в полевых условиях на чешуекрылых и полужесткокрылых, зато убивает личинки *Diabrotica*, в том числе резистентные к Vt-токсину. Другой подход, разраба-

тываемый этим же коллективом, основан на использовании методов РНК-интерференции для подавления трансляции ключевых для вредителя генов.

В целом, перечень естественных для растений белков с активностью, направленной против насекомых-фитофагов, и представляющих интерес при конструировании устойчивых к вредителям форм растений довольно широк: лектины; белки, инактивирующие рибосомы (RIP); защитные пептиды дефензины и циклотиды; ферменты уреазы, хитиназы и пептидазы, а также ингибиторы пищеварительных ферментов [53]. Основной стратегией применения таких белков является перенос кодирующих их генов в растения, где они исходно отсутствуют, и, соответственно, зависящие от данных растений фитофаги никогда ранее с такими белками не взаимодействовали.

Лектины – белки растений, высокоспецифичные к разнообразным углеводам или гликоконъюгатам (углеводам, ковалентно связанным с белками, липидами или другими молекулами), присутствующим в вирусах, бактериях, грибах, беспозвоночных (включая насекомых-фитофагов) и других потенциально опасных для растений организмах. Действие многих лектинов на насекомых осуществляется через пищеварительную систему. Их мишенями являются встроенные в мембраны клеток эпителия или секретруемые в полость кишечника ферменты и транспортные белки, содержащие в своей структуре гликаны; в число таких белков входят аминопептидазы, α -амилазы, ферритин и многие другие гликопротеины. Один из механизмов действия лектинов состоит в образовании крупных агрегатов из молекул гликопротеинов, которые не способны проникать через перитрофическую мембрану, что делает невозможной обратную диффузию ферментов насекомого для рециклизации в пищеварительной системе [122]. С другой стороны, специфичные к хитину лектины могут повреждать перитрофическую мембрану, что приводит к нарушению баланса между экто- и эндоперитрофическими зонами кишечника, а также, индуцируя апоптоз клеток эпителия кишечника, снижать содержание вырабатываемых ими пищеварительных ферментов [35]. В отношении насекомых, лишенных перитрофической мембраны в кишечнике, например тлей, более действенны другие механизмы активности лектинов.

При создании растений, устойчивых к тлям и другим фитофагам, сосущим флоэмный сок, необходимо учитывать особенности их питания и биологии, а также невосприимчивость многих из них к Vt-токсинам. И здесь на первый план выходят лектины, хотя ширятся попытки использовать и другие защитные факторы. Известно, что флоэмный сок может содержать лектины, ингибиторы протеиназы и другие белки. К настоящему времени уже получены трансгенные растения с 13 генами, принадлежащими к 7 семей-

ствам лектинов [136]. К сожалению, помимо инсектицидного или фунгицидного действия, некоторые из использованных лектинов могут проявлять множество других видов биологической активности, включая токсичность или способность активировать или подавлять деление клеток. Это может иметь негативные последствия для полезных организмов и человека и делает необходимым особенно тщательно анализировать побочные эффекты от всех подобных белков. Разрабатываются также подходы, основанные на известных R-генах устойчивости к тлям, на целенаправленном изменении метаболизма терпенов и других метаболитов растений, на механизмах РНК-интерференции и т. д.

Разработаны биопестициды нового типа, представляющие собой химерные белки, которые могут быть использованы для борьбы с вредителями, сосущими флоэмный сок. Так, на растениях арабидопсиса, экспрессирующих в листьях ген, кодирующий гибридный белок, состоящий из токсина паука и лектина подснежника, наблюдалась повышенная смертность большой злаковой (*Sitobion avenae*) и персиковой (*Myzus persicae*) тлей [88]. Конечно, и эти решения не могут служить панацеей, а должны находиться в обширном ряду различных подходов.

ГИДРОЛИТИЧЕСКИЕ ФЕРМЕНТЫ НАСЕКОМЫХ И ИХ БЕЛКОВЫЕ ИНГИБИТОРЫ КАК ЭЛЕМЕНТЫ КОЭВОЛЮЦИИ НАСЕКОМЫХ И РАСТЕНИЙ

Среди защитных механизмов растений, относительно безопасных для человека и природных экосистем, на которые можно было бы опереться при конструировании растений, устойчивых к вредителям, выделяются, в частности, действующие посредством белковых ингибиторов пищеварительных ферментов насекомых. На примере таких ингибиторов можно осветить некоторые проблемы, возникающие при создании форм растений, устойчивых к вредителям, методами биотехнологии.

Протеиназы, α -амилазы и другие пищеварительные гидролазы играют ключевую роль в пищевых связях насекомых с растениями. От того, насколько эффективно эти ферменты гидролизуют белки и углеводы растений, во многом зависит жизнеспособность фитофагов. Ингибиторы помогают растению затруднять этот процесс. Шансы растения на выживание существенно повышаются при наличии любых факторов, снижающих доступность незаменимых аминокислот или энергетических ресурсов для фитофагов. Ингибиторы входят в число подобных факторов [62].

Системы белковых ингибиторов α -амилаз, протеиназ, пектиназ и других гидролаз у растений очень сложны, многообразны [21, 48, 135] и являются важ-

ными компонентами как конституционального, так и индуцированного иммунитета к вредным организмам. Многообразие и сложность наборов ингибиторов экзогенных протеиназ и других гидролаз формировались в ходе коэволюции растений и фитофагов, в первую очередь, насекомых [8, 62, 68].

Протеиназы насекомых и их ингибиторы у растений

Протеиназы насекомых, обеспечивающие усвоение ими белков пищи, представлены сериновыми, цистеиновыми, аспартильными и металлсодержащими ферментами, отличающимися по структуре активных центров, взаимодействующих с субстратами [80, 119]. Участие цистеиновых ферментов в пищеварении является существенным отличием насекомых и ряда других беспозвоночных от млекопитающих и других позвоночных: у первых часть цистеиновых протеиназ из внутриклеточных превратились в секретируемые внеклеточные, что существенно повысило эффективность всего протеолитического комплекса [90]. Соответственно и роль факторов, ограничивающих активность тех или иных ферментов, неодинакова в отношении насекомых и млекопитающих: наличие ингибиторов цистеиновых протеиназ в пище существенно, в первую очередь, для насекомых. Последнее обстоятельство делает особенно привлекательной идею создавать устойчивые к насекомым растения при использовании факторов, нейтральных для человека и сельскохозяйственных животных. Среди ингибиторов α -амилаз (см. ниже) также есть формы, специфичные преимущественно к ферментам насекомых [48, 68, 74].

Ингибиторы протеиназ – естественные для растений белки. Они, как правило, безвредны для человека, а иногда даже полезны вследствие антиканцерогенной и антивирусной активности, например, ингибиторы протеиназ семейства Bowman-Birk [31]. Интересно, что ингибиторы протеиназ способны подавлять развитие даже таких насекомых, как тли, у которых, как было принято считать, белковое питание отсутствует. Недавно протеиназы, способные расщеплять белки растений, были все же найдены в пищеварительной системе тлей [50, 136]. Известны также примеры негативного воздействия ингибиторов протеиназ на тлей. Однако в ряде случаев защитный эффект может быть результатом действия ингибиторов не на пищеварительные протеиназы, а, например, на участвующие в метаморфозе насекомых.

Набор и специфичность пищеварительных протеиназ фитофага во многом определяются конкретным источником пищи. Это можно, отчасти, проследить на примере трипсино- и химотрипсиноподобных сериновых протеиназ, принадлежащих к семейству S1. Сериновые ферменты, подобные стандартным для ис-

следователей трипсину или химотрипсину млекопитающих, синтезируются в пищеварительных органах большинства видов насекомых; однако на базе единой, но эволюционно гибкой молекулярной структуры возникли варианты, приспособленные к гидролизу самых разнообразных субстратов. Так, трипсин быка гидролизует пептидные связи по лизину или аргинину с карбоксильной стороны, а химотрипсин – по любой из ароматических аминокислот. В свою очередь, одна из форм протеиназ (GHP3), вырабатываемых в слюнных железах клопа вредная черепашка *Eurygaster integriceps* Put. (Scutelleridae) [72], проявляет заметное сходство последовательности с трипсином, но в наибольшей степени (от 35 до 42% гомологии) она близка сериновым трипсиноподобным протеиназам насекомых, синтезируемым в слюнных железах других видов клопов – растительноядных из семейства Miridae и кровососущих из семейства Reduviidae. Протеиназы клопов рода *Lygus* Hahn (Miridae) гидролизуют те же субстраты, что и стандартный трипсин быка, тогда как трипсиноподобные (по структуре) протеиназы переносчика болезней *Triatoma infestans* (Klug) особенно специфичны к белкам крови, а протеиназа черепашки GHP3 – к субъединицам запасного белка зерна пшеницы – глютеина. Негомологичные участки последовательностей протеиназ, по-видимому, в какой-то мере ответственны за тонкие различия в пространственной структуре и специфичности ферментов, которые могут быть выявлены физическими методами (рентгеноструктурный анализ) или компьютерным моделированием на основании известных аминокислотных последовательностей [72]. Структура активного центра протеиназы GHP3 явно соответствует структуре повторяющегося элемента последовательности глютеина, который она разрезает по границе между гекса- и нонапептидами. У другого вредителя пшеницы, клопа *Nysius huttoni* White (Lygaeidae), коэволюция с кормовыми растениями привела к появлению варианта сериновой протеиназы, гидролизующей высокомолекулярный глютеин по середине гексапептидов [43].

Растения, со своей стороны, отвечают на модификации структуры пищеварительных ферментов фитофагов изменением структуры своих белков. Так, показано, что устойчивость клейковины к протеиназам клопов рода *Eurygaster* Lap., а также полевая устойчивость сортов пшеницы к данным вредителям могут коррелировать с компонентным составом весьма гетерогенных и изменчивых высокомолекулярных субъединиц глютеина [45, 130]. Другой механизм ограничения действия пищеварительных гидролаз фитофагов связан с чрезвычайно разнообразными белковыми ингибиторами – как конституциональными, накапливаемыми в семенах, клубнях и репродуктивных органах растений одновременно с запасными

веществами, так и индуцируемыми, синтез которых, например в листьях, запускается воздействием насекомых или патогенов. Ингибитор, связываясь своим доменом, имитирующим субстрат, с активным центром протеиназы, блокирует его. В результате фермент теряет активность, что затрудняет усвоение белков фитофагом, увеличивает его энергетические затраты на усвоение пищи и снижает жизнеспособность. Кроме того, присутствие ингибиторов стимулирует усиленный синтез пищеварительных протеиназ, что приводит к истощению ресурсов энергии, а также серосодержащих аминокислот в организме вредителя.

В международной базе данных по пептидазам и их ингибиторам MEROPS (<http://merops.sanger.ac.uk/>) выделяются более 80 семейств белковых ингибиторов, представители которых найдены в разных группах живых организмов. У растений найдены представители от 10 до 13 семейств ингибиторов протеиназ, в том числе несколько семейств ингибиторов сериновых, цистеиновых, аспартильных протеиназ, а также ингибиторов металлокарбоксипептидаз [11, 21, 126] (все упомянутые ферменты-мишени ингибиторов характерны для пищеварительной системы насекомых). Ингибиторы протеиназ у растений представлены разнообразными пептидами и белками с молекулярной массой от 1,5 кДа (SFTI-1 у подсолнечника) [79] до нескольких десятков кДа [21, 126]. Наиболее изучены представители семейств ингибиторов протеиназ Bowman-Birk (найжены у бобовых и злаков), Kunitz (у большинства цветковых и голосеменных [75]), ингибиторов типа I и II из картофеля (они есть только у пасленовых), ингибиторов α -амилаз/трипсина из семян злаков, ингибитора трипсина из семян тыквенных, ингибитора трипсина из семян горчицы (найжены только у крестоцветных), ингибитора трипсина из семян вероники (семейство I73 по номенклатуре MEROPS) или α -гарпининов [33, 91], серпинов и фитостатинамов, ингибитора аспартильных протеиназ (родственны ингибиторам из семейства Kunitz). Большинство ингибиторов содержат в своей структуре домен, который называют «реактивный центр», – это полипептидная имитирующая природный белковый субстрат петля, которая связывается с активным центром протеиназы, но, в отличие от субстрата, не отсоединяется от него сразу после гидролиза пептидной связи, соответствующей специфичности фермента, что делает невозможным дальнейшее функционирование последнего. Такой механизм характерен для наиболее распространенных растительных ингибиторов пищеварительных протеиназ насекомых и других фитофагов. Иной механизм используется серпинами – единственным типом ингибиторов, представители которого найдены у всех основных групп организмов – от эукариот до вирусов. Реактивный центр серпинов также имитирует нормальный субстрат, но

взаимодействие с протеиназой приводит к резкой смене конформации ингибитора, сопровождающейся необратимым нарушением структуры активного центра фермента. Поскольку последствия такого взаимодействия необратимы и для ингибитора, этот механизм называют «суицидальным». Интересно, что реактивные центры серпинов, найденных в зернах пшеницы и ржи, содержат последовательности, состоящие из нескольких остатков глутамина подряд. Это расценивается как имитация первичной структуры запасных белков проламинов и позволяет предположить функциональную направленность данных серпинов на подавление протеиназ вредных насекомых [94].

Начиная с 1996 г., гены разнообразных ингибиторов протеиназ встраивают в геномы многих растений для придания им устойчивости к вредителям и болезням [11, 39, 51, 53, 60, 111].

α-Амилазы и их ингибиторы

α-Амилазы играют важнейшую роль в усвоении насекомыми крахмала – основного источника энергии для многих видов фитофагов [48]. Как и протеиназы, α-амилазы синтезируются как в кишечнике, так и в слюнных железах насекомых, причем зачастую эти формы существенно различаются по свойствам и чувствительности к ингибиторам [68, 74].

Необходимость защиты запасных углеводов от фитофагов привела к появлению у растений нескольких эволюционно независимых молекулярных механизмов подавления чужеродных амилолитических ферментов. Одни из них возникли на основе структур белков, функционально связанных с углеводами, например, лектинов. Другие являются представителями обширных семейств белков с разнообразными, но преимущественно защитными функциями, например, тауматин- или тионин-подобных белков. Некоторые ингибиторы α-амилаз объединены в одну молекулярную структуру с ингибиторами протеиназ или гидролазами (например, хитиназой), что существенно увеличивает их защитный потенциал [48].

По-видимому, ингибиторы амилаз насекомых и других фитофагов и ингибиторы эндогенных α-амилаз (ответственных за регуляцию ферментов растения) эволюционировали независимо и не проявляют перекрестной активности, тогда как отдельные системы ингибиторов протеиназ могут взаимодействовать как с чужеродными, так и эндогенными ферментами (например, ингибиторы цистеиновых протеиназ у злаков). Состав систем ингибиторов чужеродных α-амилаз и протеиназ может отражать сортовую и видовую специфику, эволюцию и филогению растений, а также полиплоидную природу видов, например, пшеницы [8, 68], или вигны [76]. Наиболее хорошо изучены ингибиторы α-амилаз из семян злаков и бобовых.

По молекулярной структуре ингибиторы α-амилаз у растений можно подразделить на несколько классов: лектин-подобные, кноттин-подобные (knottin-like), семейство ингибиторов из семян злаков, подобные ингибитору протеиназ Кунитца, γ-пурутионин-подобные и тауматин-подобные [105].

Отдельные изоформы лектин-подобных ингибиторов из семян фасоли отличаются по отношению к α-амилазам млекопитающих и разных видов насекомых [52, 76]. Эти белки очень похожи на фитогемагглютинины, а некоторые их изоформы, весьма близкие к ним по структуре, будучи токсичными для насекомых, но лишены способности ингибировать α-амилазы, могут рассматриваться как переходные звенья между агглютинидами, арселинами и ингибиторами α-амилаз насекомых [129]. Один из родственных указанным белкам представителей этого семейства является специфичным ингибитором α-амилаз грибов и одновременно обладает гемагглютинирующей активностью [44].

Кноттин-подобный высокоспецифичный ингибитор α-амилаз насекомых из семян амаранта, самый низкомолекулярный из известных у растений ингибитор α-амилаз (всего 32 аминокислотных остатка), близок по структуре представителям семейства ингибиторов трипсина из тыквы, а также токсинам ряда беспозвоночных [97].

Ингибиторы чужеродных α-амилаз из семян злаков, являясь представителями особого семейства ингибиторов, отличаются по способности образовывать мультимерные комплексы (размер мономера около 12 кДа), а также по активности к ферментам насекомых. Состав ингибиторов α-амилаз насекомых и млекопитающих у полиплоидных видов пшеницы отражает их геномную структуру и эволюционные связи с их дикими сородичами – эгилопсами [8, 68]. Возрастание уровня плоидности, в целом, сопровождалось усложнением состава ингибиторов α-амилаз насекомых. Возможно, это было обусловлено необходимостью компенсировать повышение пищевого качества зерна современных культурных полиплоидных пшениц, увеличившее его привлекательность и для насекомых, питающихся зерном. Состав отдельных ингибиторов α-амилаз насекомых весьма изменчив в пределах рода, видов, популяций и даже сортов. Эта изменчивость коррелирует и с уровнем ингибирующей активности, что может выражаться, в частности, в отличиях сортов пшеницы по устойчивости к зерновым вредителям. Некоторые диплоидные виды пшеницы (все известные генотипы культурной *Triticum monocossum* и большинство генотипов дикой *T. boeoticum*) лишены ингибиторов α-амилаз насекомых [6, 8]. Возможно, что длительное отсутствие угрозы со стороны соответствующих вредителей может служить причиной перехода некоторых генов ингибиторов α-амилаз в «молчащее» состояние [106].

Ингибиторы, относящиеся к данной группе, могут быть бифункциональными, например, помимо α -амилаз насекомых могут ингибировать и трипсиноподобные протеиназы тех же насекомых, а также млекопитающих и грибов [48, 74].

Представители семейства протеаз Кунитца представлены бифункциональными ингибиторами α -амилаз прорастающего зерна злаков и микробных субтилизин-подобных протеиназ. Активность к α -амилазам насекомых они не проявляют [7, 74], однако, в принципе, они могут влиять на фитофагов, подавляя активность субтилизин-подобных протеиназ эндосимбиотических микроорганизмов, обитающих в их кишечнике. Ингибиторы протеиназ, также содержащиеся в растениях, в частности, цистатины, могут предохранять ингибиторы α -амилаз от протеолиза и тем самым усиливать их защитную функцию [19].

Гены ингибиторов α -амилаз, наряду с генами ингибиторов протеиназ, а также сцепленные с ними генетические маркеры используются при конструировании форм растений, устойчивых к вредителям [25, 48, 63, 84, 109].

Пектиназы и их ингибиторы

Пектиназы (в том числе полигалактуроназы) – ферменты, осуществляющие гидролиз пектина, важного компонента клеточных стенок у растений. В основном пектиназы синтезируются микроорганизмами и растениями. У насекомых пектиназы продуцируются главным образом симбиотическими микроорганизмами, хотя известны примеры пектиназ, синтезируемых самим насекомым, например, слюнными железами клопа *Lygus hesperus* Knight) [28]. Однако уже на нескольких примерах доказано бактериальное происхождение генов пектиназ, присутствующих в геноме некоторых видов насекомых, что является следствием горизонтального переноса генов [112]. Интересно, что полигалактуроназы тлей, распространяемые по флоэме, индуцируют защитные реакции растения, в частности, накопление перекиси водорода во флоэмном соке, что негативно действует на пищеварительную систему вредителей [138].

Ингибиторы полигалактуроназ принадлежат к семейству лейцин-богатых (LRR) белков и в основном направлены на предотвращение проникновения патогенных грибов в растительные клетки за счет подавления активности ферментов, разрушающих полисахаридную основу клеточных стенок [82]. Повышение содержания олигосахаридов в клетке за счет гидролиза полисахаридов (пектинов) клеточной стенки, образованных остатками галактуроновой кислоты, служит сигналом для синтеза ингибиторов полигалактуроназ. Помимо эндополигалактуроназ грибов эти ингибиторы действуют также на ферменты бактерий и насекомых, в частности, растительоядных

клопов [49]. В растениях выявлен механизм, дифференцирующий запуск синтеза отдельных вариантов ингибиторов, действующих на отношении грибов и насекомых [38]. Уже созданы трансгенные растения, устойчивость которых к грибным патогенам определяется ингибиторами полигалактуроназ [46, 101], что указывает на возможность использовать аналогичные подходы и в отношении других вредителей.

Адаптация насекомых к белковым ингибиторам и пути ее ограничения

Ингибиторы в качестве защитных факторов обладают, наряду с несомненными достоинствами, также и рядом недостатков; например, многие вредители способны преодолевать этот барьер. Насекомые-фитофаги на протяжении сотен миллионов лет взаимодействовали с белковыми ингибиторами их пищеварительных ферментов, содержащимися в растениях, что в результате коэволюции привело к формированию разнообразных и весьма изощренных механизмов адаптации. Установлено, что наличие ингибиторов в пище провоцирует запуск множества компенсаторных процессов. Так, например, с помощью технологии ДНК-микрочипов установлено, что в ответ на появление ингибиторов протеиназ в пище в тканях кишечника саранчи усиливается транскрипция более сотни генов, а транскрипция еще большего числа генов ослабевает [114]. В числе новых транскриптов есть и те, что соответствуют пищеварительным протеиназам. Важно, что подобные сведения по составу транскриптома кишечника могут представлять интерес и в связи с технологией РНК-интерференции, поскольку позволяют очень точно подобрать мишень для воздействия на насекомое.

Адаптация насекомых к белковым ингибиторам протеиназ может происходить путем усиления экспрессии генов пищеварительных протеиназ, синтеза протеиназ, нечувствительных к ингибиторам, синтеза протеиназ, гидролизующих ингибиторы [138], а также путем блокирования синтеза защитных белков в растении, что включает способность насекомого выделять соединения, дезориентирующие сигнальную систему растений [67]. Усиление экспрессии генов пищеварительных протеиназ может привести к истощению резервов незаменимых аминокислот, а также важных для синтеза протеиназ серосодержащих аминокислот. Синтез нечувствительных к ингибиторам протеиназ также запускается при снижении концентрации активных ферментов, вызванном действием ингибиторов. Этот процесс управляется особыми контролирующими пептидами, присутствующими в полости кишечника [62]. Нечувствительные протеиназы могут отличаться от чувствительных незначительными структурными изменениями, влияющими

на связывание с ингибитором, или принадлежать к совершенно другим семействам протеиназ. Протеиназы, гидролизующие и инактивирующие ингибиторы, могут быть специфичными к ингибиторам основного кормового растения и не действовать на ингибиторы из других видов растений, как, например, у капустной моли *Plutella xylostella* [134], или принадлежать к классу протеиназ, не соответствующему спектру действия ингибитора [18]. Интересно, что ингибиторы протеиназ и нечувствительные к ним протеиназы насекомых могут участвовать в формировании сложных, в том числе мутуалистических взаимоотношений растений и насекомых. Так, мирмекофитные виды акации продуцируют пищевые тельца, содержащие белки для питания муравьев рода *Pseudomyrmex*, с которыми они находятся в отношениях облигатного мутуализма. Тельца содержат также несколько вариантов ингибиторов протеиназ семейства Кунитца, которые подавляют протеиназы некоторых видов жуков, но не муравьев рода *Pseudomyrmex*. То есть ингибиторы предохраняют пищевые тельца от поедания неадаптированными фитофагами и тем самым предоставляют преимущество насекомым-симбионтам [93].

Известно, что эффект большинства соединений, используемых при создании устойчивых форм растений, рано или поздно компенсируется адаптацией насекомых. Более перспективным считается сочетание нескольких разнородных защитных факторов или механизмов в растении, что должно ограничивать или замедлять процесс адаптации насекомых. Наиболее эффективным признано использовать гены тех вариантов ингибиторов, с которыми вредитель раньше не взаимодействовал; например, в хлопок вводят гены ингибиторов трипсина из бобовых или злаков или даже из животных. Потенциал ингибиторов существенно возрастает, когда одновременно используют гены ингибиторов протеиназ и, например, Vt-токсина. Это уже нашло применение на хлопке, причем пока без провоцирования микроэволюционных процессов у вредителей и, соответственно, без приобретения ими резистентности [51].

Интересный эффект получается при сочетании ингибиторов с веществами вторичного происхождения. Так, на табаке с привлечением методов РНК-интерференции, позволяющих выключать синтез ингибиторов протеиназ или никотина, было показано, что ингибиторы в сочетании с никотином проявляют мощный защитный синергизм в отношении совки малой *Spodoptera exigua*, тогда как на растении с ингибитором, лишенном никотина, фитофаг развивается даже лучше, чем на растении и без ингибитора, и без никотина. В данном случае имеет место мощная компенсаторная реакция насекомого на ингибитор, которая выражается в активации пищеварительных ферментов и приводит к большому ущербу

для растения. Никотин, в свою очередь, обеспечивает эффективность данной пары за счет блокирования компенсаторных реакций насекомого [115]. Современные методы, в принципе, уже позволяют управлять содержанием веществ вторичного происхождения в различных органах, что делает такие подходы пригодными и для получения растений, подходящих для питания человека или животных. Например, уже созданы растения хлопчатника без госсипола в семенах, но содержащие этот полифенол в вегетативных частях и сохранившие устойчивость к насекомым [95].

Может быть эффективным сочетание ингибиторов двух и более типов, например, ингибиторов сериновых и цистеиновых протеиназ [92], ингибиторов протеиназ и α -амилаз, или ингибиторов и других защитных белков. Совместное действие ингибиторов цистеиновых протеиназ, например, из сои, с ингибитором α -амилаз из пшеницы способно обеспечить растениям синергетический защитный эффект в отношении жуков-зерновок. Роль ингибитора протеиназ в этой паре заключается в подавлении цистеиновых пищеварительных протеиназ насекомых, способных разрушать токсичный для многих насекомых ингибитор α -амилаз [19]. Сочетание ингибиторов протеиназ с лектинами способно обеспечить устойчивость к полужесткокрылым, цикадкам и тлям. Методы РНК-интерференции также можно использовать для подавления индуцированного ингибиторами синтеза нечувствительных к данным ингибиторам протеиназ, причем этот метод позволяет подавить экспрессию целого набора генов, причастных к адаптации насекомых, за счет инактивации факторов транскрипции.

Проблема ограничения нежелательной активности протеиназ является важной задачей не только для сельского хозяйства, но и для медицины, где интенсивно разрабатываются соответствующие молекулярно-генетические подходы, с помощью которых уже достигнуты существенные успехи в терапии тромбозов, а также вирусных и онкологических заболеваний. Эти подходы представляют интерес и для решения проблем защиты растений.

Среди возможных путей снижения нежелательной активности протеиназ можно отметить следующие: использование известных белковых ингибиторов из растений или животных или конструирование на их основе новых специфичных ингибиторов конкретных протеиназ; создание специфичных ингибиторов на основе пропептидов протеиназ – аминокислотных последовательностей, в норме блокирующих активный центр протеиназы при ее биосинтезе; использование ингибиторов, созданных на основе антител к активному центру фермента и способных перекрывать его доступ к субстрату и тем самым блокировать его активность; применение технологии РНК-интерференции, позволяющей подавлять транс-

ляцию определенной матричной РНК, кодирующей протеиназу вредителя. Соответствующие гены, кодирующие указанные типы ингибиторов или РНК, могут быть встроены в растения для придания им устойчивости.

Если в отношении некоторых видов насекомых могут быть эффективны существующие в природе ингибиторы их пищеварительных ферментов, то для ограничения численности высокоспециализированных вредителей с нечувствительными к известным стандартным ингибиторам протеиназами и α -амилазами (например, протеиназы и α -амилазы вредной черепашки или ряд протеиназ колорадского жука) необходимо отбирать из множества природных вариантов наиболее эффективные формы с помощью специальных подходов функциональной протеомики [103] или конструировать новые формы ингибиторов.

Главными факторами вредоносности вредной черепашки и других растительноядных клопов являются протеиназы и другие гидролазы, которые они вводят в созревающее зерно пшеницы для осуществления внекишечного пищеварения. Следы протеиназ клопов, оставшиеся в зерне, ухудшают качество клейковины, что сказывается на выпечке хлеба. Одним из многих возможных путей к ограничению активности протеиназ хлебных клопов могло бы быть использование белковых ингибиторов, однако эти ферменты нечувствительны к известным формам ингибиторов. Для конструирования ингибиторов необходимо располагать чистыми препаратами ферментов с известными характеристиками. В наибольшей мере этим требованиям соответствуют рекомбинантные формы ферментов, которые получают методом гетерологической экспрессии соответствующих генов в клетках микроорганизмов. Вредная черепашка располагает сложным набором протеиназ, участвующих во внекишечном пищеварении. Некоторые такие ферменты, принадлежащие к разным подсемействам сериновых протеиназ и синтезирующиеся в слюнных железах вредителя – гидролизующая глютенин зерна и родственная по структуре (но не по специфичности) трипсину протеиназа GHP3 [4, 72] и пролил-специфичная эндопептидаза [133] – были экспрессированы в клетках микроорганизмов, что позволило приступить к конструированию их ингибиторов. Эти ферменты существенно различаются по свойствам и субстратной специфичности, соответственно должны различаться и их ингибиторы. Перспективным шаблоном для ингибитора протеиназы GHP3 может являться, например, ингибитор SFTI-1 из подсолнечника, а для ингибитора пролил-эндопротеазы исходными структурами могут служить пептидные продукты гидролиза белка молока – казеина [125]. Достигнутая степень ингибирования указанных ферментов еще невысока, но результаты указывают на возможность

получения более специфичных ингибиторов путем тонкой настройки структуры реактивных центров. Еще один перспективный подход к ограничению активности пищеварительных протеиназ вредной черепашки основан на РНК-интерференции. Обработка личинок клопов специфичной двухцепочечной РНК подавляла экспрессию цистеиновой протеиназы в кишечнике и приводила к снижению их веса и жизнеспособности [20].

Наиболее распространенный в природе механизм ингибирования протеиназ заключается в том, что элемент структуры молекулы ингибитора, обозначаемый как реактивный центр, имитирует природный белковый субстрат и связывается с активным центром фермента, блокируя его (в отличие от субстрата). С помощью специальных программ на компьютере строят пространственные модели молекул ферментов и ингибиторов и оценивают энергетические параметры их взаимодействия по отдельным аминокислотным остаткам. Знание параметров взаимодействия позволяет строить модели возможных эффективных ингибиторов для определенных ферментов. Такие модели создаются на основе структур известных ингибиторов и, в упрощенном виде, конструирование новых ингибиторов включает подбор аминокислотных остатков в реактивном центре, обеспечивающих оптимальное взаимодействие с остатками активного центра.

Из всего множества ингибиторов, выявленных у растений и животных, выбраны несколько типов, в наибольшей мере пригодных для использования в качестве «шаблонов» для конструирования новых специфичных ингибиторов. Некоторые из этих шаблонов уже успешно опробованы в медицине и физиологии, например, циклический ингибитор трипсина из семян подсолнечника SFTI-1 [69, 79, 89], тогда как представители семейства двуспирального ингибитора трипсина из семян вероники VhTI [33, 73, 91] считаются весьма перспективными исходными структурами для создания молекул с различными типами защитной активности. Можно отметить, что обе упомянутые малые пептидные структуры привлекают большое внимание специалистов из разных областей, поскольку манипуляции с отдельными аминокислотными остатками способны кардинально менять их биологическую активность. Так, структуры, подобные VhTI и широко представленные в защитных пептидах и ингибиторах протеиназ у многих растений, оказались очень близкими структурам нейротоксинов из ряда беспозвоночных, что позволяет, теоретически, конструировать новые типы защитных белков путем замены отдельных аминокислотных остатков [23].

Ингибитор из семян подсолнечника на сегодня признан самым мощным у растений ингибитором трипсина с необычно малым размером (всего 14 аминокислотных остатков) и уникальной для ингибиторов

из растений циклической молекулой [79]. Простота структуры и высокая стабильность к протеолизу послужили основанием для его использования многими исследователями в качестве базы для конструирования ингибиторов разнообразных сериновых протеиназ. Замена отдельных аминокислотных остатков можно существенно влиять на специфичность ингибитора, а встраивание коротких последовательностей, определяющих требуемую биологическую активность, в структуру SFTI-1 обеспечивает полученной химерной молекуле высокую устойчивость к протеолизу и разнообразным абиотическим факторам. Особенно интенсивно работают с ингибитором из подсолнечника в области медицины, где на его основе разрабатывают препараты для терапии опухолей, заболеваний крови, кожи, анальгетики и т.д. [9, 29, 30, 61, 102].

При всех кардинальных различиях между структурами SFTI-1 (замкнутое полипептидное кольцо, «перехваченное» дисульфидной связью) [79]) и VhTI (две α -спирали, соединенные двумя дисульфидными связями [33]), можно выделить ряд таких свойств, общих для данных белков, которые могут в какой-то мере способствовать лучшему пониманию оснований для их использования в качестве шаблонов для конструирования. Пока нет ясности относительно происхождения ингибитора SFTI-1 и его филогенетических связей с другими ингибиторами протеиназ. Решение этого вопроса могло бы как внести вклад в понимание функций данного белка в растении, так и расширить представления о возникновении и эволюции подобных защитных белков.

Молекула SFTI-1 по структуре соответствует реактивному центру ингибитора Bowman-Birk из сои, замкнутому в кольцо, тогда как все остальные элементы структуры классического ингибитора оказались как бы отброшенными. Ингибиторы семейства Bowman-Birk найдены только у злаков и бобовых. Из всех сложноцветных лишь *Helianthus annuus* L. и другие виды подсолнечника, а также близкого ему рода *Tithonia* Desf. ex Juss. являются носителями циклического ингибитора, соответствующего фрагменту ингибитора Bowman-Birk. У представителей других семейств семенных растений подобные ингибиторы не найдены [69, 71, 73, 41]. У близких подсолнечнику сложноцветных также найдены циклические пептиды, сходные по структуре с SFTI-1, однако не проявляющие активности по отношению к протеиназам [40]. По-видимому, это защитные пептиды с пока не установленной функциональной направленностью (возможно, антимикробной).

Похожая ситуация наблюдается и в случае VhTI-подобных пептидов, которые у разных растений обладают либо трипсин-ингибирующей, либо антимикробной, в том числе инактивирующей рибосомы активностью [33, 77, 81, 91]. Сходство SFTI-1-подоб-

ных и VhTI-подобных пептидов состоит в том, что они экспрессируются в составе одной полипептидной цепи с запасными белками семян – альбуминами и вицилинами соответственно [41, 81]. По-видимому, их основная роль заключается в защите запасных белков от микроорганизмов как при созревании, так и при прорастании семян посредством трипсин-ингибирующей и антимикробной активности. Мишенями подобных ингибиторов могут быть как внеклеточные трипсин-подобные протеиназы, характерные для многих фитопатогенных грибов [70], так и пищеварительные протеиназы насекомых.

Есть сведения в пользу защитной роли ингибиторов сериновых протеиназ, содержащихся в семенах подсолнечника, в отношении насекомых [24]. Как говорилось выше, у VhTI-подобных белков есть структурные гомологи среди токсинов беспозвоночных. Выяснилось, что у, казалось бы, эволюционно изолированного даже среди белков растений SFTI-1 есть гомолог среди белков животных. Среди множества защитных пептидов, секретлируемых клетками кожи некоторых амфибий, выявлен ингибитор трипсина размером 1,8 кДа, проявляющий высокую степень сходства с SFTI-1 [128]. Остается неясным, является ли гомология SFTI-1 с ингибитором из кожи лягушки результатом конвергентной эволюции или следствием произошедшего когда-то горизонтального переноса генов с участием, например, микроорганизмов, несущих гены белков, близких по структуре SFTI-1. Некоторые исследователи объясняют сходство SFTI-1 из подсолнечника с активным центром представителей семейства ингибитора Bowman-Birk бобовых и злаков конвергенцией, основываясь на том, что у сложноцветных есть множество переходных форм SFTI-1-подобных пептидов [41]. Таким образом, SFTI-1- и VhTI-подобные структуры самой природой используются для выполнения различных защитных функций, причем «переназначение» функций осуществляется за счет замен отдельных аминокислотных остатков. Относительная легкость «переключения» функций открывает широкие возможности для того, чтобы конструировать на основе таких структур новые белки, способные защищать растения от насекомых-фитофагов.

Приведенные выше сведения о защитных механизмах растений и о путях их использования при создании устойчивых к вредителям форм растений отражают лишь малую часть огромного объема исследований, проводимых по этой теме во всем мире. Хотя эффективность большинства из указанных механизмов уже доказана экспериментально, следует признать, что пока лишь единичные решения доведены до практического применения. Однако быстрое развитие современных технологий будет способство-

вать скорейшему практическому применению многих из описанных экологически безопасных подходов. При этом понимание закономерностей коэволюции насекомых и растений, а также молекулярных аспектов адаптации насекомых к различным защитным

факторам позволит сделать такие подходы более эффективными.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (гранты № 12-08-00885 и 15-08-04247)

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Вилкова НА, Нефедова ЛИ, Фролов АН. Иммуниет семенных растений и его фитосанитарное значение в агроэкосистемах. Защита и карантин растений. 2015;(8):3-9.
2. Вилкова НА. Иммуниет растений к вредным организмам и его биоценотическое значение в стабилизации агроэкосистем и повышении устойчивости растениеводства. Вестник защиты растений. 2000;(2):3-15.
3. Вилкова НА, Конарев АВ. Современные проблемы иммуниета растений к вредителям. Вестник защиты растений. 2010;(3):3-15.
4. Долгих ВВ, Сендерский ИВ, Конарев АВ. Получение и свойства рекомбинантных протеиназ *Eurygaster integriceps* Put., гидролизующих глютеин. Приклад биохимия и микробиол. 2014;50(5):466-74.
5. Долгих ВВ, Сендерский ИВ, Павлова ОА, Наумов АМ. Уникальные особенности энергетического обмена микроспоридий как результат длительной адаптации к внутриклеточному развитию. Паразитология. 2011;42(5):147-57.
6. Конарев АВ. Компонентный состав и генетический контроль ингибиторов α -амилаз насекомых из зерна пшениц и эгилопсов. Докл ВАСХНИЛ. 1982;(6):42-4.
7. Конарев АВ. Методы анализа компонентного состава ингибиторов α -амилаз и протеиназ у злаков. Приклад биохимия и микробиол. 1985; 21(1):92-100.
8. Конарев АВ. Системы ингибиторов гидролаз у злаков – организация, функции и эволюционная изменчивость. Автореф дисс докт биол наук. М.: Институт биохимии им А.Н. Баха; 1992.
9. Кузнецова СС, Колесанова ЕФ, Таланова АВ, Веселовский АВ. Перспективы создания новых ингибиторов терапевтически значимых сериновых протеаз на основе кноттинов и пептидного ингибитора трипсина из семян подсолнечника (SFTI 1). Биомед хим. 2016;62(4):353-68.
10. Максимов ИВ, Сорокань АВ, Нафикова АР, Беньковская ГВ. Возможность и механизмы действия *Bacillus subtilis* 26Д и *Beauveria bassiana* Уфа-2 при применении для защиты растений картофеля от фитофтороза и колорадского жука. Микол фитопатол. 2015;49(5):317-24.
11. Мосолов ВВ, Валуева ТА. Ингибиторы протеиназ в биотехнологии растений (обзор). Приклад биохим микробиол. 2008;44(3): 261-9.
12. Павлюшин ВА, Вилкова НА, Сухорученко ГИ, Фасулати СР, Нефедова ЛИ. Фитосанитарные последствия антропогенной трансформации агроэкосистем. Вестник защиты растений. 2008;(3):3-26.
13. Рукавцова ЕБ, Алексеева ВВ, Бурьянов ЯИ. Применение РНК-интерференции в метаболической инженерии растений (обзорная статья). Биоорг хим. 2010;36:159-69.
14. Шафикова ТН, Омеличкина ЮВ. Молекулярно-генетические аспекты иммуниета растений к фитопатогенным бактериям и грибам. Физиология растений. 2015;62:611-27.
15. Шеленга ТВ, Конарев АВ, Дзюбенко НИ. Эндифитные грибы рода *Neotyphodium* – выявление и идентификация у овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds.). Методические рекомендации. Санкт-Петербург: ВИР; 2007.
16. Шеленга ТВ, Конарев АВ, Дзюбенко НИ, Малышев ЛЛ, Такаи Т. Изучение образцов овсяницы луговой из коллекции ВИР, содержащих симбиотические грибы-эндифиты рода *Neotyphodium*. Докл РАСХН. 2006;(1):20-2.

Общий список литературы/Reference List

1. Vilkova NA, Nefedova LI, Frolov AN. [Immunity of seed plants and its phytosanitary value in agroecosystems]. *Zaschita i Karantin Rasteniy*. 2015;(8):3-9. (In Russ.)
2. Vilkova NA. [Plant immunity against pest organisms and its role in stabilizing agroecosystems and plant growing]. *Vestnik Zaschity Rasteniy*. 2000;(2):3-15. (In Russ.)

3. Vilkova NA, Konarev AV. [Modern problems of plant immunity to pests]. Vestnik Zashchity rasteniy. 2010;(3):3-15. (In Russ.)
4. Dolgikh VV, Senderskiy IV, Konarev AV. Production and properties of recombinant glutenin-hydrolyzing proteinases from *Eurygaster integriceps* Put. Appl Biochem Microbiol. 2014;50(5):433-40. (English translation of Prikl Biokh Mikr.)
5. Dolgikh VV, Senderskiy IV, Pavlova OA, Naumov AM. [Unique characteristics of the energy metabolism in Microsporidia as a result of durational adaptation to the intracellular development]. Parazitologiya. 2010;45(2):147-57.
6. Konarev AV. Component composition and genetic control of insect alpha-amylase inhibitors from wheat and Aegilops grain. Soviet Agricultural Science. 1982;(6):68-71. (English Translation of Dokl VASKhNIL)
7. Konarev AV. [Methods for analyzing the composition of cereal α -amylase and proteinase inhibitors]. Prikl Biokh Mikrobiol. 1985;21(1):92-100. (In Russ.)
8. Konarev AV. [Systems of hydrolase inhibitors in cereals: organization, functions and evolutionary variability. DSc Thesis]. Moscow: AN Bach Institute of Biochemistry; 1992. (In Russ.)
9. Kuznetsova SS, Kolesanova EF, Talanova AV, Veselovsky AV. [Prospects for the design of new therapeutically significant protease inhibitors based on knottins and sunflower seed trypsin inhibitor (SFTI 1)]. Biomed Khim. 2016;62(4):353-68. (In Russ.)
10. Maksimov IV, Sorokan AV, Nafikova AR, Benkovskaya GV. [On the in principle ability and mechanisms of action of the concerted use of *Bacillus subtilis* 26D and *Beauveria Bassiana* Ufa-2 preparations for potato protection against *Phytophthora Infestans* and *Leptinotarsa decemlineata*]. Mikologiya i Fitopatologiya. 2015;49(5):317-24. (In Russ.)
11. Mosolov VV, Valueva TA. Proteinase inhibitors in plant biotechnology: A review. Appl Biochem Microbiol. 2008;44(3):233-40. (English Translation of Prikl Biokh Mikr. 2008;44(3):261-9)
12. Pavlyushin VA, Vilkova NA, Sukhoruchenko GI, Fasulati SR, Nefedova LI. [Phytosanitary consequences of anthropogenic transformation of agricultural ecosystems]. Vestnik Zashchity Rasteniy. 2008;(3):3-26. (In Russ.)
13. Rukavtsova EB, Alekseyeva VV, Buryanov YaI. The use of RNA interference for the metabolic engineering of plants (review). Russ J Bioorganic Chem. 2010;36(2):146-56. (English translation of Bioorg Chem. 2010;36(2):159-69).
14. Shafikova TN, Omelichkina YV. Molecular genetic aspects of plant immunity to phytopathogenic bacteria and fungi. Russ J Plant Physiol. 2015;62(5):571-85. (English translation of Fiziol Rast. 2015;62(5):611-27).
15. Shelenga TV, Konarev AV, Dzubenko NI. Endofitnye Griby Roda *Neotyphodium* – Vyavleniye i Identifikatsiya u Ovsianitsy Lugovoy (*Festuca pratensis* Huds.) Metodicheskiye Rekomendatsii. [Endophyte Fungi of Genus *Neotyphodium*: Detection and Identification in Meadow Fescue (*Festuca pratensis* Huds.) Methodological Guide]. Saint Petersburg: VIR; 2007. (In Russ.)
16. Shelenga TV, Konarev AV, Dzubenko NI, Malyshchikov LL, Takai T. [Study of meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.) accessions (from N.V.Vavilov institute collection) containing the endophyte fungi of genus *Neotyphodium* (= *Acremonium*)]. Dokl RASKhN, 2006;(1):20-2. (In Russ.)
17. Acevedo FE, Rivera-Vega LJ, Chung SH, Ray S, Felton GW. Cues from chewing insects – the intersection of DAMPs, HAMPs, MAMPs and effectors. Curr Opin Plant Biol. 2015;26:80-6.
18. Ahn JE, Zhu-Salzman K. CmCatD, a cathepsin D-like protease has a potential role in insect defense against a phytocystatin. J Insect Physiol. 2009;55:678-85.
19. Amirhusin B, Shade RE, Koiwa H, Hasegawa PM, Bressan RA, Murdock LL, Zhu-Salzman K. Soyacycstatin N inhibits proteolysis of wheat α -amylase inhibitor and potentiates toxicity against cowpea weevil. Econ Entomol. 2004;97:2095-100.
20. Amiri A, Bandani AR, Alizadeh H. Molecular identification of cysteine and trypsin protease effect of different hosts on protease expression, and RNAi mediated silencing of cysteine protease gene in the Sunn pest. Arch Insect Biochem Physiol. 2016;91(4):189-209.
21. Bateman KS, James MN. Plant protein proteinase inhibitors: structure and mechanism of inhibition. Curr Protein Pept Sci. 2011;12(5):340-7.
22. Becerra JX. On the factors that promote the diversity of herbivorous insects and plants in tropical forests. Proc Natl Acad Sci USA. 2015;112(19):6098-103.
23. Berkut AA, Usmanova DR, Peigneur S, Oparin PB, Mineev KS, Odintsova TI, Tytgat J, Arseniev AS, Grishin EV, Vassilevski AA. Structural similarity between defense peptide from wheat and scorpion neurotoxin permits rational functional design. J Biol Chem. 2014;289:14331-40.
24. Bhat NS, Puttarangappa, Virupakshappa K, Prasad DT. Proteinase inhibitor in sunflower seed and its influence on growth and development of capitulum borer *Helicoverpa armigera* (Hubner). In:

- Proc. 14th International Sunflower Conf. Beijing/ Shenyang; 1996. p. 523-32.
25. Blair MW, Muñoz C, Buendía HF, Flower J, Bueno JM, Cardona C. Genetic mapping of microsatellite markers around the arcelin bruchid resistance locus in common bean. *Theor Appl Genet.* 2010;121:393-402.
 26. Brar DS, Virk PS, Jena KK, Khush GS. Breeding for resistance to planthoppers in rice. In: Heong KL and Hardy B, eds. *Plant hoppers: new threats to the sustainability of intensive rice production systems in Asia.* Los Baños: International Rice Research Institute; 2009. p. 401-9.
 27. Broadway RM. The response of insects to dietary protease inhibitors. In: Michaud D, ed. *Recombinant Protease Inhibitors in Plants.* Landes Bioscience; 2000. p. 80-8.
 28. Celorio-Mancera MP, Greve LC, Teuber LR, Lavavitch JM. Identification of endo-and exo-polygalacturonase activity in *Lygus hesperus* Knight salivary glands. *Arch Insect Biochem Physiol.* 2009;70(2):122-35.
 29. Chan LY, Craik DJ, Daly NL. Dual-targeting anti-angiogenic cyclic peptides as potential drug leads for cancer therapy. *Sci Rep.* 2016;6:35347.
 30. Chen W, Kinsler VA, Macmillan D, Di WL. Tissue kallikrein inhibitors based on the sunflower trypsin inhibitor scaffold – a potential therapeutic intervention for skin diseases. *PLoS One.* 2016;11(11):e0166268. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0166268>
 31. Clemente A, Arques MC. Bowman-Birk inhibitors from legumes as colorectal chemopreventive agents. *World J Gastroenterol.* 2014;20:10305-15.
 32. Coaker G. Plant-pathogen effectors: Cellular probes interfering with plant defenses in spatial and temporal manners. *Annu Rev Phytopathol.* 2016;54:419-41.
 33. Connors R, Konarev AV, Forsyth J, Lovegrove A, Marsh J, Joseph-Horne T, Shewry PR, Brady RL. An unusual helix-turn-helix protease inhibitory motif in a novel trypsin inhibitor from seeds of *Veronica (Veronica hederifolia L.)*. *J Biol Chem.* 2007;282:27760-8.
 34. de Andrade EC, Hunter WB. RNA interference – natural gene-based technology for highly specific pest control (HiSPeC). In: Abdurakhmonov IY, ed. *RNA Interference.* InTech; 2016. <http://dx.doi.org/10.5772/61612>.
 35. de Oliveira CFR, de Moura MC, Napoleão TH, Paiva PMG, Coelho LCBB, Macedo MLR. A chitin-binding lectin from *Moringa oleifera* seeds (WSMoL) impairs the digestive physiology of the Mediterranean flour larvae, *Anagasta kuehniella*. *Pestic Biochem Physiol.* 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.01.006>
 36. Despres L, David JP, Gallet C. The evolutionary ecology of insect resistance to plant chemicals. *Trends Ecol. Evol.* 2007;22:298-307.
 37. Dobler S, Dalla S, Wagschal V, Agrawal AA. Community-wide convergent evolution in insect adaptation to toxic cardenolides by substitutions in the Na,K-ATPase. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2012;109:13040-5.
 38. D'Ovidio R, Raiola A, Capodicasa C, Devoto A, Pontiggia D, Roberti S, Galletti R, Conti E, O'Sullivan D, De Lorenzo G. Characterization of the complex locus of bean encoding polygalacturonase-inhibiting proteins reveals subfunctionalization for defense against fungi and insects. *Plant Physiol.* 2004;135:2424-35.
 39. Dunaevsky YE, Elpidina EN, Vinokurov KS, Belozersky MA. Protease inhibitors in improvement of plant resistance to pathogens and insects. *Mol Biol.* 2005;39(4):608-13.
 40. Elliott AG, Franke B, Armstrong DA, Craik DJ, Mylne JS, Rosengren KJ. Natural structural diversity within a conserved cyclic peptide scaffold. *Amino Acids.* 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s00726-016-2333-x>
 41. Elliott AG, Delay C, Liu H, Phua Z, Rosengren KJ, Benfield AH, Panero JL, Colgrave ML, Jayasena AS, Dunse KM, Anderson MA, Schilling EE, Ortiz-Barrientos D, Craik DJ, Mylne JS. Evolutionary origins of a bioactive peptide buried within prealbumin. *Plant Cell.* 2014;26:981-95.
 42. Emebiri LC, Tan MK, El-Bouhssini M, Wildman O, Jighly A, Tadesse W, Ogbonnaya FC. QTL mapping identifies a major locus for resistance in wheat to Sunn pest (*Eurygaster integriceps*) feeding at the vegetative growth stage. *Theor Appl Genet.* 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s00122-016-2812-1>.
 43. Every D, Sutton KH, Shewry PR, Tatham AS, Coolbear T. Specificity of action of an insect proteinase purified from wheat grain infested by the New Zealand wheat bug, *Nysius huttoni*. *J Cereal Sci.* 2005;42(2):185-91.
 44. Fakhoury AM, Woloshuk CP. Inhibition of growth of *Aspergillus flavus* and fungal alpha-amylases by a lectin-like protein. *Mol Plant-Microbe Interact.* 2001;14:955-61.
 45. Fatehi F, Behamta MR, Zali AA. Evaluating the resistance to sunn pest (*Eurygaster integriceps* Put) and its relationship with high-molecular-weight glutenin subunit in wheat. In: *Proc. 11th Int Wheat Genet Symp, Brisbane, Australia, Vol. 3.* Sydney: University Press; 2008. p. 741-3.
 46. Ferrari S, Galletti R, Pontiggia D, Manfredini C, Lionetti V, Bellincampi D, Cervone F, De Lorenzo G. Transgenic expression of a fungal

- endo-polygalacturonase increases plant resistance to pathogens and reduces auxin sensitivity. *Plant Physiol.* 2008;146:669-81.
47. Fire AZ. Gene silencing by double-stranded RNA (Nobel lecture). *Angew Chem Int Ed* 2007;46:6966-84.
 48. Franco OL, Rigden DJ, Melo FR, Grossi-de-Sá MF. Plant α -amylase inhibitors and their interaction with insect α -amylases. *Eur J Biochem* 2002;269:397-412.
 49. Frati F, Galletti R, De Lorenzo G, Salerno G, Conti E. Activity of endo-polygalacturonases in mirid bugs (Heteroptera: Miridae) and their inhibition by plant cell wall proteins (PGIPs). *Eur J Entomol.* 2006;103:515-22.
 50. Furch AC, van Bel AJ, Will T. Aphid salivary proteases are capable of degrading sieve-tube proteins. *J Exp Bot.* 2015;66:533-9.
 51. Gatehouse JA. Prospects for using proteinase inhibitors to protect transgenic plants against attack by herbivorous insects. *Curr Protein Pept Sci.* 2011;12(5):409-16.
 52. Grossi de Sa MF, Mirkov TE, Ishimoto M, Colucci G, Bateman KS, Chrispeels MJ. Molecular characterization of a bean α -amylase inhibitor that inhibits the α -amylase of the Mexican bean weevil *Zabrotes subfasciatus*. *Planta.* 1997;203:295-303.
 53. Grossi-de-Sa MF, Pelegrini PB, Vasconcelos IM, Carlini CR, Silva MS. Entomotoxic plant proteins: potential molecules to develop genetically modified plants resistant to insect-pests. In: Gopalakrishnakone P, ed. *Plant Toxins. Toxinology.* Dordrecht: Springer Science; 2015. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-6728-7_13-1
 54. Hammer TJ, Bowers MD. Gut microbes may facilitate insect herbivory of chemically defended plants. *Oecologia.* 2015;179:1-14.
 55. Hansen AK, Moran NA. The impact of microbial symbionts on host plant utilization by herbivorous insects. *Mol Ecol.* 2014;23:1473-96.
 56. Heidel-Fischer HM, Vogel H. Molecular mechanisms of insect adaptation to plant secondary compounds. *Curr Opin Insect Sci.* 2015;8:8-14.
 57. Heinrich M. Has plant-insect coevolution had an impact on the human brain? *BioScience.* 2015.65(1):104-5.
 58. Howe GA, Jander G. Plant immunity to insect herbivores. *Annu Rev Plant Biol.* 2008;59:41-66.
 59. Hui DQ, Iqbal J, Lehmann K, Gase K, Saluz HP, Baldwin IT. Molecular interactions between the specialist herbivore *Manduca sexta* (Lepidoptera, Sphingidae) and its natural host *Nicotiana attenuata*. V. Microarray analysis and further characterization of large-scale changes in herbivore-induced mRNAs. *Plant Physiol.* 2003;131(4):1877-93.
 60. Jamal F, Pandey PK, Singh D, Khan MY. Serine protease inhibitors in plants: nature's arsenal crafted for insect predators. *Phytochem Rev.* 2013;12(1):1-34.
 61. Jendry C, Beck-Sickinger AG. Inhibition of kallikrein-related peptidases 7 and 5 by grafting serpin reactive-center loop sequences onto sunflower trypsin inhibitor-1 (SFTI-1). *ChemBioChem.* 2016;17:719-26.
 62. Jongsma M, Beekwilder J. Co-evolution of insect proteases and plant protease inhibitors. *Curr Protein Pept Sci.* 2011;12:437-47.
 63. Kaur R, Gupta AK. Insect amylase-plant amylase inhibitor interaction is key to success of transgenics against insect herbivory. *Biochem Anal Biochem.* 2015;4(4):1. <http://dx.doi.org/10.4172/2161-1009.1000201>
 64. Kennedy DO. *Plants and the Human Brain.* Oxford University Press; 2014.
 65. Kessler A, Baldwin IT. Plant responses to insect herbivory: the emerging molecular analysis. *Annu Rev Plant Biol.* 2002;53:299-328.
 66. Kessler A, Halitschke R, Baldwin IT. Silencing the jasmonate cascade: induced plant defenses and insect populations. *Science.* 2004;305:665-8.
 67. Kim J, Quaghebeur H, Felton GW. Reiterative and interruptive signaling in induced plant resistance to chewing insects. *Phytochemistry.* 2011;72:1624-34.
 68. Konarev AV. Interaction of insect digestive enzymes with plant protein inhibitors and host-parasite coevolution. *Euphytica.* 1996;92:89-94.
 69. Konarev AV, Anisimova IN, Gavrilova VA, Rozhkova VT, Fido R, Tatham AS, Shewry PR. Novel proteinase inhibitors in seeds of sunflower (*Helianthus annuus* L.): polymorphism, inheritance and properties. *Theor Appl Genet.* 2000;100:82-8.
 70. Konarev AV, Anisimova IN, Gavrilova VA, Shewry PR. Polymorphism of inhibitors of hydrolytic enzymes present in cereal and sunflower seeds. In: Mugnozza GTS, Porceddu E, Pagnotta MA, eds. *Genetics and Breeding for Crop Quality and Resistance: Proc. XV EUCARPIA Congress, Viterbo, Italy, September 20–25, 1998.* Springer Netherlands; 1999. p.135-44. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-4475-9_16
 71. Konarev AV, Anisimova IN, Gavrilova VA, Vachrusheva TE, Konechnaya GY, Lewis M, Shewry PR. Serine proteinase inhibitors in the Compositae: distribution, polymorphism and properties. *Phytochemistry.* 2002;59:279-91.
 72. Konarev AV, Beaudoin F, Marsh J, Vilcova NA, Nefedova LI, Sivir D, Koxsel H, Shewry PR, Lovegrove A. Characterization of a glutenin-specific serine proteinase of sunn bug *Eurygaster integriceps* Puton. *J Agric Food Chem.* 2011;59(6):2462-70.

73. Konarev AV, Griffin J, Konechnaya GY, Shewry PR. The distribution of serine proteinase inhibitors in seeds of the Asteridae. *Phytochemistry*. 2004;65:3003-20.
74. Konarev AV, Lovegrove A. Novel detection methods used in conjunction with affinity chromatography for the identification and purification of hydrolytic enzymes or enzyme inhibitors from insects and plants. In: Magdeldin S, ed. *Affinity Chromatography*. InTech; 2012. p. 187-210. <http://dx.doi.org/10.5772/37618>
75. Konarev AV, Lovegrove A, Shewry PR. Serine proteinase inhibitors in seeds of *Cycas siamensis* and other gymnosperms. *Phytochemistry*. 2008;69:2482-9.
76. Konarev AV, Tomooka N, Ishimoto M, Vaughan D. Variability of the inhibitors of serine, cysteine proteinases and insect α -amylases in *Vigna* and *Phaseolus*. In: Mugnozza GTS, Porceddu E, Pagnotta MA, eds. *Genetics and Breeding for Crop Quality and Resistance: Proc. XV Eucarpia Congress, Viterbo, Italy, September 20-25, 1998*. Springer Netherlands;1999. p. 173-81. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-4475-9_20
77. Li F, Yang XX, Xia HC, Zeng R, Hu WG, Li Z, Zhang ZC. Purification and characterization of Luffin P1, a ribosome-inactivating peptide from the seeds of *Luffa cylindrica*. *Peptides*. 2003;24:799-805.
78. Luan JB, Chen W, Hasegawa DK, Simmons AM, Wintermantel WM, Ling KS, Fei Z, Liu S-Sh, Douglas AE. Metabolic coevolution in the bacterial symbiosis of whiteflies and related plant sap-feeding insects. *Genome Biol Evol*. 2015;7:2635-47.
79. Luckett S, Garcia RS, Barker JJ, Konarev AV, Shewry PR, Clarke AR, Brady RL. High-resolution structure of a potent, cyclic proteinase inhibitor from sunflower seeds. *J Mol Biol*. 1999;290:525-33.
80. Macedo MR, Freire MGM. Insect digestive enzymes as a target for pest control. *Invert Surviv J*. 2011;8:190-8.
81. Marcus JP, Green JL, Goulter KC, Manners JM. A family of antimicrobial peptides is produced by processing of a 7S globulin protein in *Macadamia integrifolia* kernels. *Plant J*. 1999;19:699-710.
82. Maulik A, Sarkar AI, Devi S, Basu S. Polygalacturonase-inhibiting proteins-leucine-rich repeat proteins in plant defense. *Plant Biology*. 2012;14(Suppl 1):22-30.
83. McHale L, Tan X, Koehl P, Michelmore RW. Plant NBS-LRR proteins: adaptable guards. *Genome Biol*. 2006;7(4):article 212. DOI:10.1186/gb-2006-7-4-212
84. Mehrabadi M, Bandani AR, Franco OL. Plant proteinaceous alpha-amylase and proteinase inhibitors and their use in insect pest control. *New Perspectives in Plant Protection*. InTech; 2012. <http://dx.doi.org/10.5772/39290>.
85. Mewis I, Appel HM, Hom A, Raina R, Schultz JC. Major signaling pathways modulate *Arabidopsis glucosinolate* accumulation and response to both phloem-feeding and chewing insects. *Plant Physiol*. 2005;138:1149-62.
86. Mithöfer A, Boland W. Plant defense against herbivores: chemical aspects. *Annu Rev Plant Biol*. 2012;63:431-50.
87. Musser RO, Hum-Musser SM, Eichenseer H, Peiffer M, Ervin G, Murphy JB, Felton GW. Herbivory: Caterpillar saliva beats plant defenses – a new weapon emerges in the evolutionary arms race between plants and herbivores. *Nature*. 2002;416:599-600.
88. Nakasu EY, Edwards MG, Fitches E, Gatehouse JA, Gatehouse AM. Transgenic plants expressing ω -ACTX-Hv1a and snowdrop lectin (GNA) fusion protein show enhanced resistance to aphids. *Front Plant Sci*. 2014;5:673. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2014.00673>.
89. Northfield SE, Wang CK, Schroeder CI, Durek T, Kan MW, Swedberg JE, Craik DJ. Disulfide-rich macrocyclic peptides as templates in drug design. *Eur J Med Chem*. 2014;77:248-57.
90. Oliveira AS, Xavier-Filho J, Sales MP. Cysteine proteinases and cystatins. *Braz Arch Biol Technol*. 2003;46:91-104.
91. Oparin PB, Mineev KS, Dunaevsky YE, Arseniev AS, Belozersky MA, Grishin EV, Egorov TA, Vassilevski AA. Buckwheat trypsin inhibitor with helical hairpin structure belongs to a new family of plant defence peptides. *Biochem J*. 2012;446:69-77.
92. Oppert B, Morgan TD, Culbertson C, Kramer KJ. Dietary mixtures of cysteine and serine proteinase-inhibitors exhibit synergistic toxicity toward the red flour beetle, *Tribolium castaneum*. *Comp Biochem Physiol*. 1993;105:379-85.
93. Orona-Tamayo D, Wielsch N., Blanco-Labra A, Svatos A, Farias-Rodríguez R, Heil M. Exclusive rewards in mutualisms: ant proteases and plant protease inhibitors create a lock-key system to protect *Acacia* food bodies from exploitation. *Mol Ecol*. 2013;22:4087-100.
94. Ostergaard H, Rasmussen SK, Roberts TH, Hejgaard J. Inhibitory serpins from wheat grain with reactive centers resembling glutamine-rich repeats of prolamin storage proteins. Cloning and characterization of five major molecular forms. *J Biol Chem*. 2000;275:33272-9.

95. Palle SR, Campbell LM, Pandeya D, Puckhaber L, Tollack LK, Marcel S, Sundaram S, Stipanovic RD, Wedegaertner TC, Hinze L, Rathore KS. RNAi-mediated ultra-low gossypol cottonseed trait: performance of transgenic lines under field conditions. *Plant Biotechnol J*. 2013;11:296-304.
96. Pandey D, Rajendran SRCK, Gaur M, Sajeesh PK, Kumar A. Plant defense signaling and responses against necrotrophic fungal pathogens. *J. Plant Growth Regul*. 2016;35:1159-74.
97. Park CS, Miller C. Mapping function to structure in a channel-blocking peptide: electrostatic mutants of charybdotoxin. *Biochemistry*. 1992;31:7749-55.
98. Petschenka G, Pick C, Wagschal V, Dobler S. Functional evidence for physiological mechanisms to circumvent neurotoxicity of cardenolides in an adapted and a non-adapted hawk-moth species. *Proc Biol Sci* 2013;280:20123089. DOI: 10.1098/rspb.2012.3089
99. Poelman EH, Dicke M. Plant-mediated interactions among insects within a community ecological perspective. *Annu Plant Rev*. 2014;47:309-37.
100. Popay AJ. Insect pests. In: Fribourg HA, Hannaway DB, West CP, eds. *Tall Fescue for the Twenty-first Century*. Amer Soc Agron Monograph Series 53; 2009. p. 129-49. <http://dx.doi.org/10.2134/agronmonogr53.c9>
101. Powell AL, van Kan J, ten Have A, Visser J, Greve LC, Bennett AB, Labavitch JM. Transgenic expression of pear PGIP in tomato limits fungal colonization. *Mol Plant Microbe Interact*. 2000;13:942-50.
102. Qiu Y, Taichi M, Wei N, Yang H, Luo KQ, Tam JP. An orally active bradykinin B1 receptor antagonist engineered as a bifunctional chimera of sunflower trypsin inhibitor. *J Med Chem*. 2016;60:504-10
103. Rasoolizadeh A, Munger A, Goulet MC, Sainsbury F, Cloutier C, Michaud D. Functional proteomics-aided selection of protease inhibitors for herbivore insect control. *Sci Rep*. 2016; 6:38827 <http://dx.doi.org/10.1038/srep38827>
104. Ray S, Gaffor I, Acevedo FE, Helms A, Chuang WP, Tooker J, Felton GW, Luthe DS. Maize plants recognize herbivore-associated cues from caterpillar frass. *J Chem Ecol*. 2015;41:781-92.
105. Richardson M. Seed storage proteins: the enzyme inhibitors. *Meth Plant Biochem*. 1991;5:259-305.
106. Sanchez-Monge R, Gomez L, Garcia-Olmedo F, Salcedo G. New dimeric inhibitor of heterologous α -amylases encoded by a duplicated gene in the short arm of chromosome 3B of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Eur J Biochem*. 1989;183:37-40.
107. Sanchis V. From microbial sprays to insect-resistant transgenic plants: history of the biopesticide *Bacillus thuringiensis*. *Agron Sustain Dev*. 2011;31:217-31.
108. Schellenberger U, Oral J, Rosen BA, Wei JZ, Zhu G, Xie W, McDonald MJ, Cerf DC, Diehn SH, Crane VC, Sandahl GA, Zhao J-Z, Nowatzki TM, Sethi A, Liu L, Pan Z, Wang Y, Lu AL, Wu G, Liu L. A selective insecticidal protein from *Pseudomonas* for controlling corn rootworms. *Science*. 2016;354(6312):634-7.
109. Schroeder HE, Gollash S, Moore A. Bean α -amylase-inhibitor confers resistance to the pea weevil (*Bruchus pisorum*) in transgenic peas (*Pisum sativum* L). *Plant Physiol*. 1995;107:1233-9.
110. Schwachtje J, Minchin PE, Jahnke S, van Dongen JT, Schittko U, Baldwin IT. SNF1-related kinases allow plants to tolerate herbivory by allocating carbon to roots. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2006;103(34):12935-40.
111. Shamsi TN, Parveen R, Fatima S. Characterization, biomedical and agricultural applications of protease inhibitors: A review. *Int J Biol Macromolec*. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.02.069>
112. Shelomi M, Danchin EGJ, Heckel DG, Wipfler B, Bradler S, Zhou X, Pauchet Y. Horizontal gene transfer of pectinases from bacteria preceded the diversification of stick and leaf insects. *Sci Rep*. 2016;6:26388. <http://dx.doi.org/10.1038/srep26388>
113. Smith CM, Clement SL. Molecular bases of plant resistance to arthropods. *Annu Rev Entomol*. 2012;57:309-28.
114. Spit J, Holtorf M, Badisco L, Vergauwen L, Vogel E, Knapen D, Broeck JV. Transcriptional analysis of the adaptive digestive system of the migratory locust in response to plant defensive protease inhibitors. *Sci Rep*. 2016;6; article 32460. <http://dx.doi.org/10.1038/srep32460>
115. Steppuhn A, Baldwin IT. Resistance management in a native plant: Nicotine prevents herbivores from compensating for plant protease inhibitors. *Ecol Lett*. 2007;10:499-511.
116. Strauss SY, Rudgers JA, Lau JA, Irwin RE. Direct and ecological costs of resistance to herbivory. *Trends Ecol Evol*. 2002;17:278-85.
117. Tabashnik BE, Brévault T, Carrière Y. Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. *Nat Biotechnol*. 2013;31(6):510-21.
118. Tanaka A, Tapper BA, Popay A, Parker EJ, Scott B. A symbiosis expressed non-ribosomal peptide synthetase from a mutualistic fungal endophyte of perennial ryegrass confers protection to the symbiont from insect herbivory. *Mol Microbiol*. 2005;57(4):1036-50.

119. Terra WR, Ferreira C. Insect digestive enzymes: properties, compartmentalization and function. *Comp Biochem Physiol B Comp Biochem.* 1994;109:1-62.
120. Tétard-Jones C, Edwards R. Potential roles for microbial endophytes in herbicide tolerance in plants. *Pest Manag Sci.* 2016;72(2):203-9.
121. Underwood W. Contributions of host cellular trafficking and organization to the outcomes of plant-pathogen interactions. *Semin Cell Develop Biol.* 2016;56:163-73.
122. Vandenborre G, Smaghe G, Van Damme EJ. Plant lectins as defense proteins against phytophagous insects. *Phytochemistry.* 2011;72(13):1538-50.
123. van Eck L, Schultz T, Leach JE, Scofield SR, Pears FB, Botha AM, Lapitan NL. Virus-induced gene silencing of WRKY53 and an inducible phenylalanine ammonia-lyase in wheat reduces aphid resistance. *Plant Biotechnol J.* 2010;8(9):1023-32.
124. Vávra J, Lukeš J. Microsporidia and 'The Art of Living Together'. In: Rollinson D, ed. *Advances in Parasitology.* Academic Press; 2013. p. 253-320.
125. Vishram A, Clack B. Identification of prolyl endopeptidase (PEP) inhibitory peptides from *Lactobacillus helveticus* digestion of four recombinant bovine caseins. *FASEB J.* 2015;29(Suppl 1):894.12.
126. Volpicella M, Leoni C, Costanza A, De Leo F, Gallerani R, Ceci LR. Cystatins, serpins and other families of protease inhibitors in plants. *Curr Protein Pept Sci.* 2011;12:386-98.
127. Wang LZ, Beuerle T, Timbilla J, Ober D. Independent recruitment of a flavin-dependent monooxygenase for safe accumulation of sequestered pyrrolizidine alkaloids in grasshoppers and moths. *PLoS One.* 2012;7(2):e31796. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0031796>
128. Wang M, Wang L, Chen T, Walker B, Zhou M, Sui D, Conlon JM, Shaw C. Identification and molecular cloning of a novel amphibian Bowman Birk-type trypsin inhibitor from the skin of the Hejiang Odorous Frog; *Odorrana hejiangensis*. *Peptides.* 2012;33(2):245-50.
129. Wato S, Kamei K, Arakawa T, Philo J, Wen J, Hara S, Yamaguchi H. A chimera-like α -amylase inhibitor suggesting the evolution of *Phaseolus vulgaris* α -amylase inhibitor. *J Biochem.* 2000;128:139-44.
130. Werteker M, Kramreither G. Relation between susceptibility to wheat bug attack and digestibility of glutenin. *J Cereal Sci.* 2008;47:226-32.
131. Wheat CW, Vogel H, Wittstock U, Braby MF, Underwood D, Mitchell-Olds T. The genetic basis of a plant-insect coevolutionary key innovation. *Proc Natl Acad Sci. USA.* 2007;104:20427-31.
132. Wybouw N, Dermauw W, Tirry L, Stevens C, Grbic M, Feyereisen R, Van Leeuwen T. A gene horizontally transferred from bacteria protects arthropods from host plant cyanide poisoning. *eLife.* 2014;3:e02365. DOI 10.7554/eLife.02365.001
133. Yandamuri RC, Gautam R, Darkoh C, Dareddy V, El-Bouhssini M, Clack BA. Cloning, expression, sequence analysis and homology modeling of the prolyl endopeptidase from *Eurygaster integriceps* Puton. *Insects.* 2014;5:762-82.
134. Yang LM, Fang ZY, Dicke M, van Loon JA, Jongsma MA. The diamondback moth, *Plutella xylostella*, specifically inactivates Mustard Trypsin Inhibitor 2 (MTI2) to overcome host plant defence. *Insect Biochem Mol Bio.* 2009;39:55-61.
135. Yarullina LG, Akhatova AR, Kasimova RI. Hydrolytic enzymes and their proteinaceous inhibitors in regulation of plant-pathogen interactions. *Russ J Plant Physiol.* 2016;63(2):193-203.
136. Yu X, Wang G, Huang S, Ma Y, Xia L. Engineering plants for aphid resistance: current status and future perspectives. *Theor Appl Genet.* 2014;127:2065-83.
137. Zhu F, Poelman EH, Dicke M. Insect herbivore-associated organisms affect plant responses to herbivory. *New Phytol.* 2014;204:315-21.
138. Zhu-Salzman K, Zeng R. Insect response to plant defensive protease inhibitors. *Annu Rev Entomol.* 2015;60:233-52.

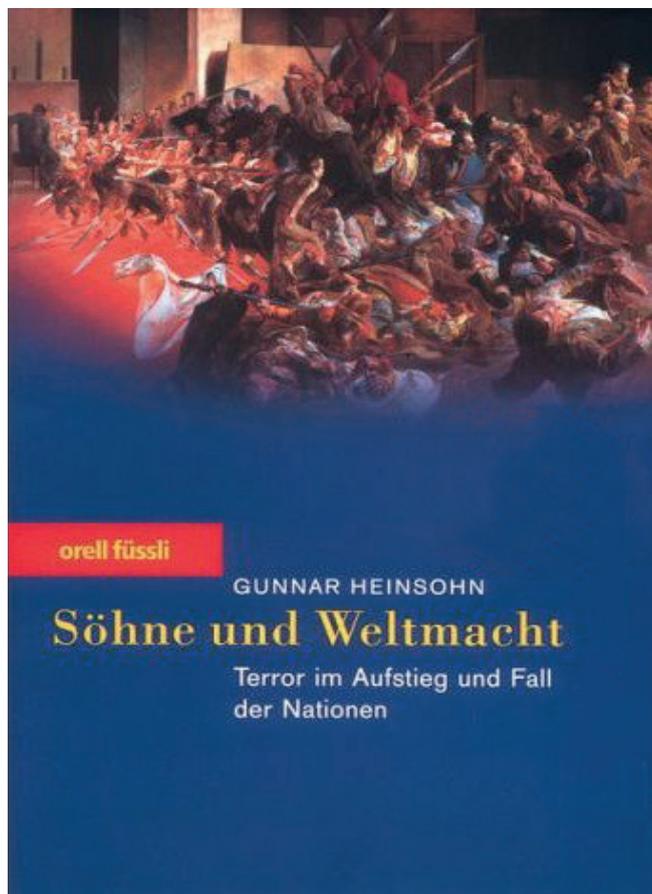
ГЕОДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ, ПОЛОВОЗРАСТНЫЕ ПИРАМИДЫ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ (РАЗМЫШЛЕНИЯ НАД КНИГОЙ ГУННАРА ХЕЙНЗОНА, ИЛИ ОПЫТ ЗАПОЗДАЛОЙ РЕЦЕНЗИИ)

Одной из самых острых глобальных проблем современности стал так называемый «миграционный кризис». Явление это не уникально для человечества. Достаточно вспомнить освоение Америки или Австралии. Но современная ситуация имеет свои особенности: основные потоки миграции направлены не от более заселенных к менее заселенным и не от более развитых (освоенных) к менее развитым территориям, а ровно наоборот. Возможные причины такого парадокса были предложены в книге, опубликованной более десяти лет назад. Вспомнить о ней заставляет дальнейшее обострение миграционной ситуации.

Речь идет о книге немецкого социолога и демографа Г. Хейнзона «Сыновья и власть над миром: Роль террора в расцвете и упадке народов» [26], которая сразу по выходе в 2003 г. стала бестселлером и переиздавалась уже не менее десяти раз (хотя перевод на английский язык пока так и не появился; укажу лишь на большое интервью Хейнзона в переводе на английский с датского [27] и на русский [4]; возможно, этим также можно объяснить столь запоздалую рецензию на эту интересную работу). При этом книга вызвала диаметрально противоположные эмоции: она либо возносилась на вершину социально-экономического знания (например, немецкий философ П. Слоутердаijk [Peter Sloterdijk] считает, что эта книга не менее важна и значительна, нежели «Капитал» Карла Маркса (см.: [3, 23])), либо низвергалась на самое дно (см. сугубо отрицательную рецензию на эту книгу британского социолога Г. Терборна [30, р. 141], который, переходя на личности, даже подчеркивает, что «научная репутация Хейнзона среди немецких ученых его собственного поколения, согласно неформальному опросу, ничтожна – “нулевая”, как выразился один коллега»).

Интересно, что даже в Интернете крайне трудно найти что-либо о Хейнзоне и его демографических взглядах на английском языке. Похоже, что в рамках понятий о политкорректности, насаждаемых с подачи наших заокеанских партнеров, эта тема табуирована. Google по запросу Gunnar Heinsohn выводит на немецкоязычные сайты, а по запросу Гуннар Хейнзон (или Хейнсон) – на русскоязычные, где можно найти одно из последних интервью с ним в связи с недавними проблемами с мигрантами в Кельне (<http://www.kontinent.org/im-nuzen-mir-i-zelatelno-ves/>) – оно переведено с немецкого на русский. Перевода на английский нет.

Попробуем разобраться в этом вопросе, но прежде – несколько слов об авторе книги «Сыновья и власть над миром». Гуннар Хейнзон родился в 1943 г. на территории Польши (сегодня – г. Гдыня). Он изучал социологию, психологию, историю, экономику, журналистику и религию в Берлине, где получил докторские степени в области социальных наук (1974 г.) и экономики (1982 г.). В 1976–1978 гг. он жил в Израиле. В 1984 г. Хейнзон стал штатным профессором Бременско-





го университета и возглавлял (до 2009 г.) Институт сравнительного изучения геноцида им. Рафаэля Лемкина (Raphael Lemkin (1900–1959) – польский, американский юрист еврейского происхождения, автор термина «геноцид») при этом университете (Raphael Lemkin Institute for Comparative Genocide Research, University of Bremen [Bremen, Germany]). Он опубликовал более 750 научных и научно-публицистических работ (в том числе почти 40 книг) о восходе, развитии и закате цивилизаций, начиная с Бронзового века и Древней Греции через ближневосточные и буддистские страны и кончая Холокостом и современной Европой. Однако наиболее яркой стала его книга «Сыновья и власть над миром» [26], во многом благодаря броскому подзаголовку – «Роль террора в расцвете и упадке народов».

Книга состоит из 6 глав: «Старый-новый вражеский мир: лишние сыновья из “мыльного пузыря”», «Где живут молодые люди?», «Демография конкистадоров и “чудо” европейского завоевания мира», «Мировые державы вчера и завтра: больше детей и ограничения структуры собственности», «“Мыльный пузырь” в транснациональном терроре» и «Внутри и снаружи»; весьма представительен список литературы (с. 163–184), имеется предметный указатель.

В этой книге Хейнзон дал объяснение явлению, породившему, в какой-то степени, непредвиденную и необъяснимую волну терроризма и насилия, которая обрушилась в настоящее время на наш мир,

назвав это явление «злокачественным или грубым (gröberen) демографическим приоритетом молодежи», «молодежным бумом (пузырем) – youth bulge» в возрастной структуре населения, описываемой половозрастными пирамидами. Замечу, что еще в 1894 г. шведский статистик и демограф А.-Г. Сундберг (Axel-Gustav Sundbärg; 1857–1914; [29]) предложил выделять три типа возрастных структур населения: прогрессивный, стационарный и регрессивный.

Прогрессивный тип характеризуется высокой долей детей (до 40%) и низкой долей старшего поколения (до 10%) во всем населении. В основе его формирования лежит расширенный тип воспроизводства. Возрастная пирамида имеет форму треугольника, основание которого зависит от величины рождаемости. При *стационарном типе*, в основе которого лежит простой тип воспроизводства, возрастная пирамида имеет форму колокола с почти уравновешенной долей детских (27%) и старческих возрастных групп (23%). Суженный тип воспроизводства приводит к формированию *регрессивного типа*, возрастная пирамида которого имеет форму урны. Для него характерна сравнительно высокая доля пожилых и старых людей (30%) и низкая – детей (20%).

Для обоснования концепции «youth bulge» Хейнзон предложил «индекс приоритета молодежи» (ИПМ) – отношение количества мужчин в возрасте 40–44 года к мальчикам в возрасте от 0 до 4 лет. Демографический «сбой» (это понятие он использует для характеристики тех стран, которые окажутся неспособными сопротивляться притоку молодежи из других стран) происходит тогда, когда на каждых 100 мужчин в возрасте 40–44 года приходится меньше чем 80 мальчиков в возрасте от 0 до 4 лет. В Германии это соотношение равно 100/50 (кстати, в России это соотношение пока 100/92), а в секторе Газа – 100/464 [24, 26, S. 36]. Можно говорить о том, что Германия, фактически, «готова к сдаче» таким странам, как Афганистан (100 мужчин/403 мальчика), Сомали (100/364) или Ирак (100/351).

Как уже отмечалось, свои выводы Хейнзон строит на графическом анализе половозрастных пирамид, имеющих вид столбиковой диаграммы. Для каждой страны пирамида имеет свои особенности. В целом для пирамиды развитых стран характерно неширокое основание (низкая доля детей) и достаточно широкая вершина (высокая доля пожилых; регрессионный тип по Сундбергу). Для пирамиды развивающихся стран, напротив, характерно очень широкое основание и узкий верх (прогрессивный [можно говорить, суперпрогрессивный] тип).

Таким образом, по Хейнзону, насилие имеет тенденцию происходить в тех обществах, где юноши от 15 до 29 лет составляют больше 30% общего населения. При этом причины насилия – религия, национализм, марксизм, фашизм и пр., то есть во имя чего оно вер-

шится, – оказываются вторичными и несущественными. На 2003 г. в мире было 67 стран с демографическим приоритетом молодежи, в 60 из них уже либо происходил массовый геноцид, либо шла гражданская война [26, S. 36]. В странах с таким «молодежным пузырем – youth bulge» молодые мужчины стремятся истребить друг друга или погибнуть в агрессивных войнах, пока не установится баланс между их амбициями и количеством приемлемых позиций, существующих в их обществе. Так, в таких арабских странах, как Ливан (150000 погибших в ходе гражданской войны между 1975 и 1990 гг.) или Алжир (200000 убитых в аналогичной войне в период между 1999 и 2006 гг.), «уровень резни понизился только тогда, когда показатели рождаемости в этих странах упали с семи детей на одну женщину до менее чем двух. Сражение остановлено, потому что больше не рождались новые войны» [24].

Хейнзон делает, казалось бы, парадоксальный вывод: экономическая и гуманитарная помощь странам со «злокачественным демографическим приоритетом молодежи» не может предотвратить войны, социальные волнения, террор или массовые убийства. Наоборот, в некоторых случаях эта материальная помощь, предоставляемая с самыми лучшими намерениями, способствует насилию. Иными словами, насилие есть предсказуемый и неизбежный результат в тех случаях, когда молодые люди сыты и живут в обществе, где их слишком много и где они негодуют на это самое общество, поскольку понимают, что оно не в состоянии их востребовать.

В соответствии с *принципом Цыпкина*¹, попробуем применить эти представления, например, для территории Волжского бассейна.

При анализе «возрастного состава населения» принято выделять три основные группы – дети (0–14 лет), взрослые (15–64 года) и пожилые (65 лет и старше). В структуре населения планеты соотношение «дети: взрослые:пожилые» выглядит как 34:58:8. Для России эти группы несколько отличны: дети (0–15 лет), взрослые (мужчины 16–59, женщины 16–54 года) и пожилые (мужчины старше 60, женщины – 55 лет). При этом соотношение этих групп на 1 января 2010 г. было таким [5]: 16,1:62,3:21,6. К сожалению, половозрастные пирамиды для отдельных областей и республик России если и существуют, то «труднодоступны»; поэтому для наших оценок воспользуемся некоторыми «поправочными» коэффициентами. Так, в целом по России группа мальчиков 0–4 года получается умножением численности группы всех детей 0–15 лет на 0,18, а группа мужчин 40–44 года получается

¹ «По-видимому, существуют три ступени познания: первая ступень – это приятное чувство, что понял аргументацию, содержащуюся в книге, вторая ступень – когда можешь повторить и использовать эту аргументацию, и, наконец, третья – когда можешь опровергнуть ее» [25, с. 4].

из группы взрослых (мужчины 16–59, женщины 16–54 года) умножением на 0,05. В результате таких арифметических действий получаем следующую картину распределения ИПМ (напомним еще раз: отношение количества мужчин в возрасте 40–44 года к мальчикам в возрасте от 0 до 4 лет) по Волжскому бассейну (рис. 1).

Интерпретация полученных результатов требует привлечения значительного объема дополнительной информации, однако, в первом приближении, можно сказать, что значения ИПМ, меньшие или равные 1, достигаются в территориях с высокой миграционной активностью (Астраханская область) и национальных республиках (Башкортостан, Татарстан, Удмуртия); высокое значение этого показателя в Пермском крае требует дополнительных исследований. Максимальное значение индекса отмечено для Москвы (100:74), Тульской (100:80) и Московской областей (100:81); скорее всего, социально-экономический уклад жизни в столице и близлежащих к ней регионах не способствует достижению высоких показателей деторождаемости. И еще одно замечание. Когда Хейнзон говорит о демографическом «сбое» при достижении соотношения (100:80), следует учитывать и общую продолжительность жизни (в частности, мужского населения), которая в России ниже, чем, например, в Германии на 15–17 лет; таким образом, «100» для мужчин России в возрасте 40–44 года – это несколько меньше, чем «100» для Германии.

Исследование Е.А. Семёнова с соавторами [22, с. 30] позволяет взглянуть «глазами Хейнзона» на геодемографическую ситуацию отдельного региона страны – в данном случае, Оренбургской области: $ИПМ_{1989} = (100:166)$ и $ИПМ_{2009} = (100:92)$. Таким образом, можно констатировать, что к концу существования СССР в Оренбургской области была весьма непростая демографическая ситуация, связанная с заметным превалированием молодежи (не последнюю роль в этом играла и миграция из соседних республик). Социально-экономическое развитие региона в последующие 20 лет *положительно сказалось на изменении ИПМ, «приведя» его почти в норму.*

Превалирование молодежи (естественно, в разумных пределах), само по себе, неплохо, если она обеспечена работой и достойной жизнью. Для территории Волжского бассейна была рассчитана корреляция ИПМ с индексом развития человеческого потенциала (ИРЧП; [6, 12])² и показателем «экологического

² ИРЧП отражает базовые возможности, которыми люди должны располагать для активного участия в жизни общества: возможность здоровой и продолжительной жизни, возможность и способность иметь знания (образование) и доступ к ресурсам, необходимым для достойного уровня жизни (региональный ВВП на душу населения [в долларах США по паритету покупательной способности]).

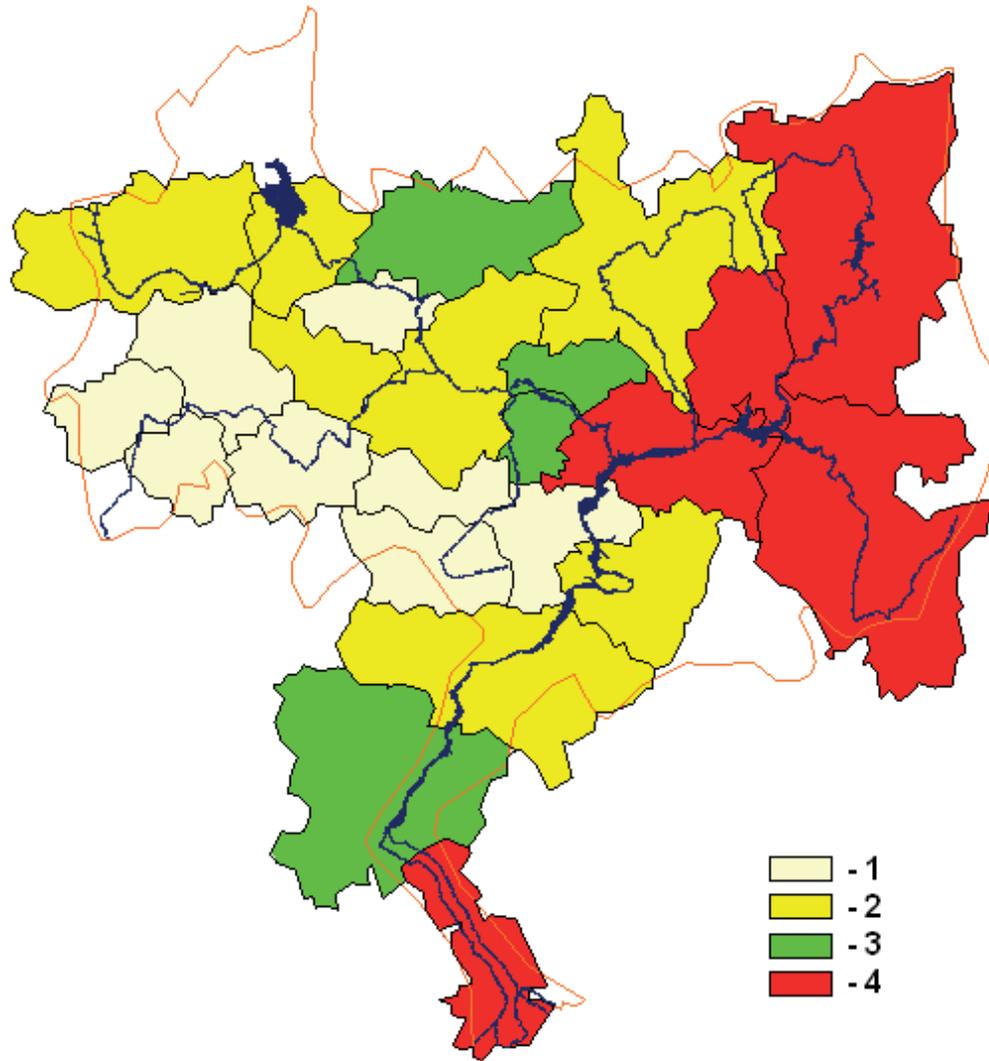


Рис. 1. Распределение индекса приоритета молодежи ([I/ИПМ]%) по территории Волжского бассейна:
1 – от 80 до 85; 2 – от 85 до 90; 3 – от 90 до 95; 4 – более 100

следа» (EF; [11])³. Эти коэффициенты оказались достоверными, но незначительными ($r = 0,41$ и $r = 0,48$, соответственно). Отсюда можно сделать вывод: либо такой проблемы для России просто нет, либо в России, что скорее всего, отсутствует (или распределена по стране без учета возникновения такого «молодежного пузыря») «инфраструктура» поддержания каче-

³ «Экологический след» (ecological footprint; EF) – мера воздействия человека на среду обитания, отражает антропогенное давление на биосферу. Это площадь биологически продуктивной территории, необходимой для производства используемых человеком ресурсов и услуг (продовольствия, древесины, морепродуктов, земли для строительства и пр.) и ассимиляции отходов (оценивается, в первую очередь, по поглощению диоксида углерода) и измеряется в глобальных гектарах на человека (гга/чел.; гга – гектар со средней способностью к производству ресурсов и ассимиляции отходов).

ства жизни подрастающего поколения [11, 18 и др.]. Изменение ИПМ в Оренбургской области за последние 20 лет в лучшую сторону свидетельствует о том, что в отдельном регионе такую инфраструктуру можно создать.

Наконец, рассмотрим связь индекса приоритета молодежи с ее агрессивностью, о чем пишет Хейнзон. Коэффициент корреляции этого показателя с коэффициентом экологической преступности (на население от 14 лет; [8, с. 58–59; 18, с. 360–362]) оказался положительным, достоверным и значимым (правда, также не очень высоким) – $r = 0,43$. По коэффициенту экологической преступности можно сделать вывод, что большее число экологических правонарушений фиксируется в «водно-браконьерской» Астраханской об-

ласти и на севере бассейна (последнее связано, скорее всего, с незаконной порубкой деревьев и кустарников [18, с. 362]). Здесь затруднительно сделать вывод о том, вносит ли какую-нибудь лепту в такого рода «экологическую агрессивность» демографический «сбой», но можно сказать, что «криминологическая картина экологической преступности и эффективности борьбы с ней не позволяет прогнозировать улучшения экологической ситуации в стране» [8, с. 62].

Многие демографы заявляют, что делать прогнозы только по общей численности населения Земли (страны, региона) – не корректно; следует учитывать половую и возрастную структуры, распределение по регионам – все, как принято при классических демоэкологических исследованиях (об этом писали и мы [21]). Предложенный Г. Хейнзоном индекс приоритета молодежи (ИПМ) может стать (и уже становится) важным параметром и серьезным регулятором общей численности населения, а через это – существенным (подчеркну еще раз, – одним из многих) показателем устойчивого развития территории. Но следует согласиться и с оппонентами Хейнзона, которые критикуют его за попытки «предупредить нас, что за пределами современного евро-американского мира скопилось слишком много рассерженных молодых людей, – и в первую очередь, слишком много молодых мусульман» [30, р. 138]. Хотя подтверждением этому могут служить показатели ИПМ для российских территорий с «повышенной агрессивностью» – Чеченская республика 100:205, Республика Дагестан 100:145. Но не всё так просто в «демографическом мире».

Прежде всего, заметим, что «уровень агрессивности» населения той или иной территории связан не только с численностью населяющей ее молодежи. В военном плане численность населения страны мало что значит в современную эпоху высокотехнологичного оружия («Превосходящая способность убивать нередко играла решающую роль в ходе европейской экспансии, начиная с победы Писарро над инками в эпоху мушкета и заканчивая победами французов и англичан в Африке в эпоху пулемета» [30, р. 141]). Можно смело предполагать, что в наши дни демографические тенденции с большей вероятностью скажутся в экономической области [9, 10, 13, 17, 28]. И, тем не менее, «страхи перед рассерженными молодыми людьми не следует воспринимать как иррациональную паранойю» [30, р. 144]. Молодежи свойствен максимализм, и она в самом деле может стать предвестником социальных перемен; однако их направление будет определяться не демографическими параметрами, а, скорее, политической борьбой. Дети современного «молодежного пузыря» живут в бедных странах с дефицитом образовательных мощностей, способных обеспечить им желаемый статус.

Устойчивого развития цивилизации нельзя достигнуть, «дергая» только за одну «веревочку» (в нашем случае – демографическую). Именно на пути системного использования всех наших знаний о структуре и функционировании социо-эколого-экономических систем и следует ожидать успехов в теоретическом осмыслении, методическом обеспечении и практической реализации принципов устойчивого развития.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Бобылев СН, Захаров ВМ. Экология и экономика: «зеленая» экономика и экосистемные услуги. Вестн Самар гос эконом ун-та. 2014; (спецвыпуск):15-24.
2. Будущее, которого мы хотим. URL: http://www.iblfrussia.org/a-conf.216-l-1_russian.pdf.
3. Вольский В. Демографический материализм. URL: http://volsky.us/demographic_materialism.html.
4. Хайнсон Г. Сыновья и Мировое Господство. Террор при росте и падении наций. URL: <http://www.budyon.org/gunnar-heinsohn-sohne-und-weltmacht-terror-im-aufstieg-und-fall-der-nationen/>.
5. Демографический ежегодник России. М.: Росстат; 2010.
6. Доклад о развитии человеческого потенциала в Российской Федерации 2010. Цели развития тысячелетия в России: взгляд в будущее. М.: UNDP Россия; 2010.
7. Захаров ВМ. Экология и экономика: современные приоритеты развития. Вестн Самар гос эконом ун-та. 2014; (спецвыпуск):7-14.

8. Королёва МВ, Сулова НВ. Обеспечение исполнения экологического законодательства органами прокуратуры. Использование и охрана природных ресурсов в России. 2007;(91):51-62.
 9. Корчагин ВП. Индикаторы экономико-демографического развития населения. Социол исслед. 1996;(9):42-54.
 10. Костина НВ, Кудинова ГЭ, Розенберг АГ, Юрина ВС, Розенберг ГС. «Экология культуры» и устойчивое развитие (с примерами по Волжскому бассейну). Экология и жизнь. 2012;(7):64-70.
 11. Костина НВ, Розенберг АГ, Розенберг ГС, Хасаев ГР. Показатель «экологического следа» и его взаимосвязь с другими индексами устойчивого развития. Вестн Самарского гос эконом ун-та. 2014;(119):34-41.
 12. Костина НВ, Розенберг ГС, Хасаев ГР, Шляхтин ГВ. Статистический анализ индекса развития человеческого потенциала (на примере Волжского бассейна). Изв Саратовского ун-та сер хим биол. экол. 2014;(3):54-69.
 13. Кудинова ГЭ. Устойчивое развитие экономико-экологических систем региона. Тольятти: Кассандра, 2013.
 14. Кудинова ГЭ, Розенберг ГС, Юрина ВС. Рецензия на книгу «Навстречу “зеленой” экономике: Пути к устойчивому развитию и искоренению бедности. Найроби-Женева-Москва: ЮНЕП, 2011». Принципы экологии. 2012;(4):41-8.
 15. Навстречу «зеленой» экономике: Пути к устойчивому развитию и искоренению бедности. Найроби-Женева-Москва: ЮНЕП; 2011.
 16. Программа действий. Повестка дня на 21 век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. Женева: Центр «За наше общее будущее»; 1993.
 17. Розенберг ГС. Экологическая экономика и экономическая экология: состояние и перспективы (с примерами по экологии Волжского бассейна). Экология. 1994;(5):3-13.
 18. Розенберг ГС. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. Тольятти: Кассандра; 2009.
 19. Розенберг ГС. Половозрастные пирамиды и устойчивое развитие (размышления над книгой Гуннара Хейнзона). Поволжский экол журн. 2014;(1):103-9.
 20. Розенберг ГС. Половозрастные пирамиды и устойчивое развитие (к вопросу о геодемографической ситуации). В кн.: Теоретические проблемы экологии и эволюции: Шестые Любичевские чтения, 11-й Всероссийский популяционный семинар и Всероссийский семинар «Гомеостатические механизмы биологических систем» с общей темой «Проблемы популяционной экологии» (6–10 апреля 1915 г., Тольятти, Россия). Тольятти: Кассандра, 2015. С. 243-7.
 21. Розенберг ГС, Краснощеков ГП, Гелашвили ДБ, Мальтус, Циолковский, Котляков и проблемы устойчивого развития и народонаселения. Вестн ДВО РАН. 1997;(2):8-12.
 22. Семёнов ЕА, Герасименко ТИ, Ахметов РШ. Современная геодемографическая ситуация в Оренбургской области. Изв Оренбургского отд РГО. 2012;(39):29-35.
 23. Фрумкин С. Демографический сбой, или континент проигравших. URL: <http://protodata.biz/demograficheskij-sboj-ili-kontinent-proigravshix.htm>.
 24. Хейнзон Г. Будет ли в Палестине мир? URL: <http://baznica.info/article/budet-li-v-palestine-mir>.
 25. Цыпкин ЯЗ. Основы теории обучающихся систем. М.: Наука; 1970.
- Общий список литературы/Reference List**
1. Bobylev SN, Zakharov VM. [Ecology and economy: the green economy and ecosystem-wide services]. Vestn Samar Gos Ekonom Univ. 2014; (special issue):15-24. (In Russ.)
 2. Buduscheye, Kotorogo My Khotim. [The Future We Want]. URL: http://www.iblfrussia.org/a-conf.216-l-1_russian.pdf.pdf. (In Russ.)
 3. Volski V. Demograficheskij Materializm. [Demographic materialism]. URL: http://volsky.us/demographic_materialism.html. (In Russ.)
 4. Hainson G. [Sons and World Domination. Terror in the rise and fall of Nations]. URL: <http://www.budyon.org/gunnar-heinsohn-sohne-und-weltmacht-terror-im-aufstieg-und-fall-der-nationen/>. (In Russ.)
 5. Demograficheskij Vestnik Rossii. [Demographic Yearbook of Russia]. Moscow: Rosstat; 2010. (In Russ.)
 6. Doklad o Razvitii Chelovecheskogo Potentsiala v Rossiyskoy Federatsii. [Report on Human Development in the Russian Federation 2010]. Moscow: UNDP Russia; 2010. (In Russ.)
 7. Zakharov VM. [Ecology and economics: modern development priorities]. Vestn Samar State Economy Univ. 2014;(special issue):7-14. (In Russ.)
 8. Koroleva MV, Suslov, NV. [The enforcement of environmental legislative prosecutors]. Ispolzovaniye i Okhrana Prirodnykh Resursov v Rossii. 2007;(91):51-62. (In Russ.)
 9. Korchagin VP. [Indicators of economic-demographic development of the population]. Sotsyologicheskije Issledovaniya. 1996;(9):42-54. (In Russ.)

10. Kostina NV, Kudinova T, Rosenberg AG, Yurina VS, Rosenberg GS. ["Ecology of culture" and sustainable development (with examples in the Volga basin)]. *Ekologiya i Zhizn*. 2012;(7):64-70. (In Russ.)
11. Kostina NV, Rosenberg AG, Rosenberg GS, Khasayev GR. [The indicator «ecological footprint» and its relationship with other indices of sustainable development]. *Vestn Samar Gos Ekon Univ*. 2014;(119):34-41. (In Russ.)
12. Kostina NV, Rosenberg GS, Khasayev GR. [Statistical analysis of the index of human development (exemplified with the Volga Basin)]. *Izv Saratov Univ Ser Khim Biol Ekol*. 2014;(3):54-69. (In Russ.)
13. Kudinova GE. *Ustoychivoye Razvitiye Ekonomiko-Ekologicheskikh Sistem Regiona*. [Sustainable Development of Regional Economic-Ecological Systems]. Togliatti: Kassandra; 2013. (In Russ.)
14. Kudinova GE, Rosenberg GS, Yurina VS. [Book review: Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication]. Nairobi-Geneva-Moscow: UNEP; 2011. *Printsypy Ekologii (Petrozavodsk)*. 2012;(4):41-8. (In Russ.)
15. [Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication]. Nairobi-Geneva-Moscow: UNEP; 2011. (In Russ.)
16. [The Program of Action. Agenda 21 and other Documents of the Conference in Rio-de-Janeiro in a Popular Presentation. Geneva: «For our common future» Center; 1993]. (In Russ.)
17. Rosenberg GS. [Ecological economics and economic ecology: status and prospects (with examples on of Volga Basin ecology)]. *Ekologiya*. 1994;(5):3-13. (In Russ.)
18. Rosenberg GS. *Volzhskiy Basseyn: Na Puti k Ustoychivomu Razvitiyu*. [Volga Basin: Towards Sustainable Development]. Togliatti: Kassandra; 2009. (In Russ.)
19. Rosenberg GS. [Age-sex pyramids and sustainable development (reflections on Gunnar Heinsohn's book)]. *Povolzhskiy Ekologicheskii Zhurnal*. 2014;(1):103-9. (In Russ.)
20. Rosenberg GS. [Age-sex pyramids and sustainable development (on the issue of geodemographic situation)]. In: *Teoreticheskiye Problemy Ekologii i Evoliutsii: Shestye Liubischevskiyeh Cheniya*. [Theoretical Problems of Ecology and Evolution: The 6th Lubishev readings]. Togliatti: Kassandra; 2015. P. 243-7. (In Russ.)
21. Rosenberg GS, Krasnoshchekov GP, Gelashvili DB. [Malthus, Tsiolkovsky, Kotlyakov and problems of sustainable development and population]. *Vestnik DVO RAN*. 1997;(2):8-12. (In Russ.)
22. Semenov EA, Gerasimenko T, Akhmetov RSh. [Modern geodemographic situation in the Orenburg Region]. *Izvestiya Orenburskofo Otdeleniya RGO*. 2012;(39):29-35. (In Russ.)
23. Frumkin S. Demographic failure or the continent of losers. URL: <http://protodata.biz/demograficheskij-sboj-ili-kontinent-proigravshix.htm>. (In Russ.)
24. Hanson G. [Will ever be piece in Palestine?]. URL: <http://baznica.info/article/budet-li-v-palestine-mir>. (In Russ.)
25. Tzypkin YaZ. *Osnovy Teorii Obuchayuschikhsia Sistem* [Fundamentals of the Theory of Learning Systems. M.: Nauka; 1970. (In Russ.)
26. Heinsohn G. *Söhne und Weltmacht: Terror im Aufstieg und Fall der Nationen*. Zürich: Orell Füssli Verlag AG; 2003.
27. Heinsohn G. Interview: A continent of losers (translation from Danish into English by Lars Hedegaard). URL: <http://gatesofvienna.blogspot.ru/2007/06/continent-of-losers.html>.
28. Heinsohn G. Ending the West's Proxy War against Israel. Stop funding a Palestinian youth bulge, and the fighting will stop too. *Wall Street Journal* (New York). 12 January 2009. URL: <http://gazeta.rjews.net/heinson.shtml>; <http://www.wsj.com/articles/SB123171179743471961>.
29. Sundbärg AG. *Grunddragen af Befolkningsläran*. Stockholm: P.A. Nordstedt och Söner; 1894.
30. Therborn G. NATO's Demographer. *New Left Review*. 2009;(56):136-44. URL: <http://www.russ.ru/pushkin/Demograf-na-sluzhbe-NATO>.

Г.С. Розенберг, чл.-корр. РАН, докт. биол. наук,
директор Института экологии Волжского бассейна РАН



ЮБИЛЕЙ: 75 ЛЕТ ПРОФ. Г.В. ЖИЖИНУ

В ЭТОМ ГОДУ ИСПОЛНЯЕТСЯ 75 ЛЕТ ПРОФЕССОРУ ГЕННАДИЮ ВЛАДИМИРОВИЧУ ЖИЖИНУ, ЧЛЕНУ РЕДКОЛЛЕГИИ ЖУРНАЛА «БИОСФЕРА» С САМОГО НАЧАЛА ЕГО СУЩЕСТВОВАНИЯ.

Г.В. Жижин родился 11 февраля 1942 г. во время эвакуации семьи из блокадного Ленинграда. По возвращении семьи в Ленинград окончил среднюю школу № 222 «Петришуле» и в 1966 г. физико-механический факультет (кафедра теплофизики) Ленинградского политехнического института, где затем защитил диссертацию кандидата физико-математических наук. Работал в ЛенНИИхиммаше, Ленинградском высшем военно-морском инженерном училище, Центральном НИИ материалов, Северо-Западном государственном заочном техническом университете, Горном университете, Институте химии силикатов РАН. В 1990 г. на совете Ленинградского технологического института защитил диссертацию доктора технических наук, в 1999 г. получил ученое звание профессора. В 2006 г. избран членом-корреспондентом Российской экологической академии, много лет является членом Научного совета по горению и взрыву РАН. В настоящее время работает главным научным сотрудником ООО «Адамант – участник проекта Сколково». В 2017 г. избран действительным членом Российской академии естественных наук. По его инициативе и при непосредственном участии в 2017 г. создано Российское общество математической химии как отделение одноименного Европейского общества.

Геннадий Владимирович автор более 130 научных работ, опубликованных в академических изданиях (в том числе Доклады РАН, Известия РАН, издания издательств Springer, IGI Global). В число 15 монографий, опубликованных Г.В. Жижиним входят «Саморегулируемые волны химических реакций и биологических популяций» (СПб.: Наука, 2004), «Диссипативные структуры в химических, геологических и экологических системах» (СПб.: Наука, 2005), «Волны горения с распределёнными зонами химических реакций» (СПб: Изд-во Вернера Регена, 2008, «Волны детонации в природе и технике, их математические модели и значение в нарушении экологических систем биосферы» (СПб: Изд-во СЗПИТ, 2009; Г.В. Жижин. А.В. Селиховкин «Математическое моделирование развития и распространения популяций насекомых – стволовых вредителей в лесах России» (в соавторстве с А.В. Селиховкиным; СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, 2012); «Мир – 4D» (СПб.: Политехника-сервис, 2014).

В последнее время Геннадий Владимирович развивает новое направление в науке: исследование структур химических соединений с определением геометрии и высшей размерности молекул, том числе имеющих принципиальное значение для функционирования живых организмов. Эти работы получили международное признание и открывают новые подходы к описанию процессов в живой и неживой природе.

Редакция журнала «Биосфера» поздравляет Геннадия Владимировича с юбилеем и желает новых успехов в творческой деятельности.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БОЧАРНИКОВА АЛЕКСАНДРА ВЛАДИМИРОВНА,

научный сотрудник лаборатории экономических проблем экологической безопасности Научно-исследовательского центра экологической безопасности (Санкт-Петербург). В 2010 г. окончила Санкт-Петербургский государственный университет. В 2011 г. прошла стажировку на факультете биологических наук, рыболовства и экономики университета Тромсе в Норвегии. Участвовала в полевых работах в Ямало-Ненецком автономном округе, Мурманской области, Приморском крае, Ленинградской области. Область научных интересов: коренные малочисленные народы Севера, Сибири и Дальнего Востока, этнологическая экспертиза, этническая экология.



БРОДСКИЙ АНДРЕЙ КОНСТАНТИНОВИЧ,

доктор биологических наук, профессор кафедры прикладной экологии Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ). В 1970 г. окончил Ленинградский государственный университет по кафедре энтомологии. В течение ряда лет работал на Кубе, где преподавал сравнительную анатомию беспозвоночных. По результатам изучения тропической фауны опубликовал монографию «Тропики, острова, биоценозы». На биологическом факультете СПбГУ преподает следующие дисциплины: Общая экология, Основы сохранения биоразнообразия, Экология города, Актуальные проблемы современной экологии. Область научных интересов: природоохранная биология, биоразнообразие и охрана природы, динамика литоральных сообществ эстуария реки Невы, биомеханика полета животных, эволюция полета насекомых, а также эколого-физиологические основы эволюции наземных членистоногих и историческое развитие отрядов насекомых, занимающих ключевое положение в филогении класса. Автор 110 печатных работ, в том числе 9 монографий, 26 учебников и учебных пособий. Ряд монографий издан на английском языке.



БУБНОВА НАТАЛЬЯ АЛЕКСЕЕВНА,

доктор медицинских наук, профессор кафедр общей хирургии Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. И.П. Павлова (СПбГМУ) и медицинского факультета Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ). Родилась в 1944 г. в Ленинграде. Окончила в 1968 г.

1-й Ленинградский медицинский институт им. акад. И.П. Павлова (ЛМИ). С 1976 по 1992 г. прошла путь от ассистента до профессора кафедры общей хирургии ЛМИ/СПбГМУ. С 1992 по 1995 г. работала в Городской больнице Св. Великомученика Георгия; с 1995 г. – профессор медицинского факультета СПбГУ.

Входит в число ведущих российских специалистов в области лимфофлебологии и гнойно-септической хирургии; подготовила 12 кандидатов и 2 докторов наук, вместе с академиком РАМН Ю.В. Наточиным принимала участие в организации медицинского факультета СПбГУ. Удостоена ряда наград, в том числе медали Г. Азелли за вклад в лимфологию мира от Ассоциации лимфологов России, премии СПбГУ «За педагогическое мастерство», медали «За заслуги перед СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова». Почетный член Хирургического общества им. Пирогова, член Всемирного общества лимфологов, вице-президент Лимфологического общества России, член правления Российской ассоциации специалистов по хирургическим инфекциям, член Ассоциации хирургов Санкт-Петербурга. Входит в состав редколлегии журналов «Регионарное кровообращение и микроциркуляция», «Флебология», «Лимфофлебология», «Хирург», «Вестник лимфологии». Автор более 300 научных работ.



ВАРЗИН СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ,

доктор медицинских наук, профессор кафедр факультетской хирургии медицинского факультета Санкт-Петербургского государственного университета и Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Окончил Военно-медицинскую академию (ВМА) им. С.М. Кирова в 1981 г. Три года служил авиационным врачом в полку стратегической авиации (Забайкальский военный округ). После поступления в адъюнктуру при кафедре факультетской хирургии ВМА (1984) проработал в академии 20 лет. Полковник медицинской службы запаса. Член-корреспондент Академии военных наук, действительный член Петровской академии наук и искусств. Научные интересы: хирургия, гастроэнтерология, нейроморфология, демография. Опубликовал более 200 работ. Соорганизатор ежегодной проводимой в Санкт-Петербурге с 2006 г. Всероссийской научно-практической с международным участием конференции «Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения» и редактор одноименного ежегодника. Награжден медалями Министерства обороны СССР и РФ, медалью Хирургического общества им. Пирогова «За вклад в развитие хирургии» и др.



**ГОЛУБЕВ
АЛЕКСЕЙ
ГЕОРГИЕВИЧ,**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры биохимии Санкт-Петербургского государственного университета. Родился в Ленинграде в 1950 г., окончил биолого-почвенный факультет Ленинградского университета в 1972 г. и аспирантуру в Лаборатории обмена веществ Физиологического НИИ им. А.А. Ухтомского при ЛГУ в 1975 г. Работал в лаборатории эндокринологии НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова, лаборатории биофизики клетки ФНИИ им. А.А. Ухтомского, отдела клинической нейробиологии и биохимии Института экспериментальной медицины (Санкт-Петербург). Область научных интересов: метаболизм, междисциплинарные проблемы биологии на пересечении биохимии, цитологии, теории эволюции, такие как продолжительность жизни, старение, механизмы клеточного цикла. Автор около 50 научных публикаций, в том числе в таких журналах, как *Journal of Theoretical Biology* и *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, и монографии «Биология продолжительности жизни и старения» (два издания 2009 и 2015 гг.). С основания журнала «Биосфера» в 2009 г. – заместитель главного редактора.



**КОНАРЕВ
АЛЕКСАНДР
ВАСИЛЬЕВИЧ,**

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории сельскохозяйственной энтомологии Всероссийского НИИ защиты растений (Санкт-Петербург). Родился в 1956 г. в Оренбурге. В 1978 г. окончил биолого-почвенный факультет Ленинградского государственного университета (кафедра физиологии и биохимии растений). Научные интересы: гидролитические ферменты насекомых и микроорганизмов и их белковые ингибиторы у растений, эволюция растений, коэволюция насекомых и растений. Разработал комплекс методов идентификации ингибиторов альфа-амилаз и протеиназ насекомых и других организмов среди белков растений. С их помощью осуществил скрининг образцов семян сотен видов пшеницы и других злаков, а также бобовых по белковым ингибиторам гидролаз. Обнаружил специфичность состава ингибиторов альфа-амилаз и протеиназ насекомых для видов, сортов и отдельных геномов злаков и бобовых и возможность использовать такие белки в качестве маркеров при оценке эволюционных связей полиплоидных видов растений. Выявил и охарактеризовал ряд представителей новых классов ингибиторов протеиназы, в том числе циклический ингибитор трипсина из подсолнечника (SFTI-1), двуспиральный ингибитор трипсина из вероники (VhTI) и др. Впервые выявил в семенах примитивных голосеменных ингибиторы сериновых протеиназ микроорганизмов. Выделил и охарактеризовал новые сериновые протеиназы слюнных желез хлебных клопов, ответст-



венные за ухудшение качества клейковины пшеницы. Работал по совместным проектам со Всероссийским институтом генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Rothamsted Research (Великобритания) и National Institute of Agrobiological Resources (Япония). Автор более 70 печатных работ.

**КУЛЕШ
ВАЛЕРИЙ ПЕТРОВИЧ,**

кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и природопользования Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета. Родился в 1944 г. в г. Татещево Саратовской области. В 1966 г. окончил математико-механический факультет Ленинградского государственного университета по кафедре дифференциальных уравнений. После окончания аспирантуры был распределен на географический факультет ЛГУ ассистентом кафедры океанологии. С этого времени круг его научных интересов сместился в сторону решения прикладных задач. Кандидатская диссертация была связана с численной реализацией математической модели циркуляции вод озера Ильмень. В.П. Кулеш является соавтором четырех монографий по компьютерному моделированию водных экосистем, а также более 60 научных статей. Ведет активную педагогическую деятельность. Награжден нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования РФ».



**МАТВЕЕВ
ВЛАДИМИР
ВЛАДИМИРОВИЧ,**

доктор технических наук, кандидат экономических наук, профессор факультета экономики и менеджмента Северо-Западного института управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ; профессор кафедры международных отношений, медиалогии, истории и политологии Санкт-Петербургского государственного экономического университета. Почетный работник высшего профессионального образования, действительный член Академии военных наук, Петровской академии наук и искусств, Академии геополитических проблем, Метрологической академии. Полковник запаса. Председатель редакционного совета научного журнала «Национальная безопасность и стратегическое планирование»; заместитель председателя редакционного совета (РС) постоянно действующей международной научно-практической конференции (ПДМНПК) «Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире»; заместитель председателя РС ПДМНПК «Высокие интеллектуальные технологии в науке и образовании»; председатель РС ПДМНПК школьников «Нобелевские чтения». Разработчик и руководитель программы профессиональной переподготовки по направлению «Государственное и муниципальное управление



в сфере национальной безопасности». Разработчик ряда авторских курсов в системе высшего образования. Автор более 300 научных работ, в том числе 16 монографий, последними из которых являются: «Системная хроника холодной войны» (СПб.: Стратегия будущего, 2013) и «Системная хроника развала СССР и становления новой России (1983–2014 гг.)» (СПб.: Стратегия будущего, 2017).

ПИСКУН ОЛЕГ ЕВГЕНЬЕВИЧ,

кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой физической культуры и адаптации Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ). Родился в 1949 г. в г. Орле. В 1974 г. окончил Ленинградский кораблестроительный институт, а в 1982 г. – Государственный институт физической культуры им. П. Ф. Лесгафта. С 1979 г. работает в СПбПУ Петра Великого. Круг интересов: педагогика, психология спорта, адаптация студентов к обучению в вузе. Разработал и внедрил в учебный процесс университета систему непрерывного мониторинга психофизического состояния студентов. Автор более 100 научных работ, опубликованных в российских и зарубежных журналах, в их числе монография «Физическая культура и непрерывный мониторинг психофизического состояния как средство адаптации студентов к обучению в вузе» (СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2012. 262 с.). Лауреат Всероссийского конкурса на лучшую научную книгу (2015) «Физкультурно-оздоровительные технологии в образовательном процессе студентов» (совместно с Льюк Л. В., Венгеровой Н. Н.; СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2015. 211 с.). Награжден медалью Санкт-петербургской православной духовной академии за вклад в дело духовно-нравственного просвещения общества.



САФРОНОВА ДАРЬЯ ВЯЧЕСЛАВОВНА,

ассистент кафедры прикладной экологии биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Окончила СПбГУ по кафедре ихтиологии и гидробиологии. Области научных интересов: качество воды, биотестирование, десятиногие раки. Принимала участие в исследованиях по темам «Разработка активных экспресс-методов индикации экологического состояния проблемных акваторий Восточной части Финского залива на основе биоэлектронного тестирования местных видов гидробионтов» и «Исследование экологического состояния поверхностных вод на основе использования методов оценки физиолого-биохимических реакций моллюсков на изменение среды обитания». Автор или соавтор 28 публикаций.



СЕРГЕЕВ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ,

доктор географических наук, профессор кафедры геоэкологии и природопользования Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета. Родился в 1936 г. в Ленинграде. Окончил Ленинградский государственный университет в 1960 г. по кафедре океанологии и работал в нем в должностях лаборанта, ассистента, доцента, профессора. В 1966 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Краевые задачи линейной теории приливов». С 1967 г. сфера его научных интересов: математическое моделирование водных экосистем и социально-экологических систем. Докторскую диссертацию защитил на тему «Теория и практика имитационного моделирования экосистем урбанизированных регионов». Под его руководством успешно защищены десятки дипломных работ, семь кандидатских диссертаций. Ю. Н. Сергеев является соавтором и редактором шести монографий по имитационному моделированию экосистем; учебника для вузов «Основы геоэкологии» и двух учебных пособий. Им опубликовано свыше 100 статей в научных изданиях. Имеет государственную награду «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации», ведомственную награду «Почетный работник высшего профессионального образования РФ». Академик Российской экологической академии и Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы.



ЧУРИЛОВ ЛЕОНИД ПАВЛОВИЧ,

кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой патологии медицинского факультета Санкт-Петербургского государственного университета, заместитель руководителя созданной в СПбГУ в 2017 г. лаборатории мозаики аутоиммунитета. Родился на Кольском Севере в 1956 г. Окончил в 1979 г. Ленинградский педиатрический медицинский институт. Сфера научных интересов включает иммуноэндокринологию, патофизиологию, медицинскую экологию, фтизиопульмонологию, историю медицины и биоэтику, методологию медицинского образования. В числе опубликованных научных трудов 30 монографий, руководств и учебников, включая руководства «Эндокринология подростков» (2004), «Ожирение у подростков» (2003, 2006), «Системная патология соединительной ткани» (2013), «Патофизиология иммунной системы» (2014), а также «Очерки истории медицины» (2015). Создал авторский учебный комплект «Патофизиология», включающий трехтомный учебник, словарь, компакт-диск, специальное пособие для стоматологического факультета, набор междисциплинарных постеров и практикум. Соавтор первого в отечественной практике двуязычного электронного руководства по иммунологии и иммунопатологии «Immunology Live – Живая иммунология» (1999), «Толкового словаря эпонимов и образных выражений» в патологии (2010), вошедшего в базу офици-



ального портала «Русский язык как государственный», редактор ряда переводных изданий по медицине, автор множества глав в руководствах и монографиях, изданных в России и за рубежом, один из разработчиков и декан первой в России программы англоязычного медицинского обучения. Неоднократно проводил гостевые курсы лекций в университетах Китая. Принимал участие в медико-экологических экспедициях в районы, пострадавшие от Чернобыльской аварии и Восточно-уральского радиоактивного следа. Л.П. Чурилов награжден грамотами и медалями Общества патофизиологов, Санкт-Петербургской духовной семинарии, почетными грамотами СПбГУ «За научные труды» (2006), «За педагогическое мастерство» (2004), «За вклад в воспитание врачей нового поколения» (2005), «За выдающийся вклад в развитие международных контактов факультета» (2008), грамотой Минобразования РФ за долголетний добросовестный труд в системе высшего образования (2009). Входит в состав редколлегий журналов «Вестник СПбГУ. Серия 11. Медицина», «Russian Biomedical Research», «Open Journal of Pathology», «Клиническая патофизиология». С 2017 г. – член редколлегии журнала «Биосфера».

**ШИШКИН
АЛЕКСАНДР
НИКОЛАЕВИЧ,**

доктор медицинских наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ. После окончания Ленинградского санитарно-гигиенического медицинского института (ЛСГМИ) в 1972 г. работал в Ленинградской области ординатором терапевтического отделения районной больницы, затем по призыву в должности начальника медицинской службы ракетной базы. С 1975 по 1996 г. прошел путь от ординатора ЛСГМИ до заведующего кафедрой, образованной на его базе Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова. С 1996 г. заведует кафедрой терапии медицинского факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Области научных интересов связаны с изучением вторичных нефропатий, артериальных гипертензий, а также метаболического синдрома и эндотелиальной дисфункции. В числе публикаций А.Н. Шишкина учебники «Болезни почек», «Пропедевтика клинических дисциплин», «Внутренние болезни», «Ревматические болезни», «Гериа-



трия», рекомендованные Министерством высшего и профессионального образования, 4 монографии, 19 учебных пособий. Двадцать пять учеников А.Н. Шишкина защитили кандидатские диссертации и двое – докторские.

**ЭРМАН
МИХАИЛ
ВЛАДИМИРОВИЧ,**

доктор медицинских наук, профессор, заместитель декана по науке, заведующий кафедрой педиатрии медицинского факультета Санкт-Петербургского государственного университета, главный детский нефролог Санкт-Петербурга. Окончил Ленинградский педиатрический медицинский институт в 1969 г. и аспирантуру на кафедре факультетской педиатрии этого же института, защитив в 1979 г. кандидатскую диссертацию. В 1980–1983 гг. работал консультантом-нефрологом МЗ СССР в Монгольской Народной Республике (Улан-Батор). С 1985 по 2000 г. работал в Санкт-Петербургской государственной педиатрической медицинской академии ассистентом, доцентом, профессором. В 1996 г. защитил докторскую диссертацию. В 1977–1985 и 1993–2003 гг. заведовал нефрологическим отделением Детской городской больницы № 2 святой Марии Магдалины (ранее ДГБ № 2 им. Н.К. Крупской). С 2000 г. заведует кафедрой педиатрии медицинского факультета СПбГУ. Научные интересы: детская нефрология, экологическая педиатрия, социальная педиатрия и организация здравоохранения. В числе опубликованных работ 10 монографий, руководств и учебников, широко используемых в практической деятельности и во многих вузах. Удостоен правительственных наград Монголии, грамот Министерства образования РФ, Санкт-Петербургского государственного университета, Национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова, Санкт-Петербургской православной духовной академии. Почетный профессор Казахского Национального медицинского университета им. С.Д. Асфендиярова. Почетный работник высшего профессионального образования РФ, лауреат Премии Санкт-Петербургского государственного университета «За педагогическое мастерство». Член редколлегий журналов «Вестник СПбГУ. Сер. 11. Медицина», «Детская медицина Северо-Запада», «Мануальная терапия», «Клиническая патофизиология».



БЛАГОДАРНОСТЬ РЕЦЕНЗЕНТАМ

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «БИОСФЕРА» И РУКОВОДСТВО ФНИ «XXI ВЕК»
СЧИТАЮТ РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ РУКОПИСЕЙ ВАЖНЕЙШИМ УСЛОВИЕМ
РАБОТЫ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ И ВЫРАЖАЮТ ГЛУБОКУЮ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТЬ СПЕЦИАЛИСТАМ,
СОГЛАСИВШИМСЯ ПОМОЧЬ РЕДКОЛЛЕГИИ В 2016 Г.:

- Анопольский В.Н.** канд. техн. наук, научный консультант научно-инженерного центра «Потенциал-2» (Санкт-Петербург)
- Блюман Б.А.** докт. геол.-минерал. наук, заведующий отделом петрологии Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (Санкт-Петербург)
- Богомолова Е.В.** канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории систематики и географии грибов Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург)
- Бродский А.К.** докт. биол. наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии Санкт-Петербургского государственного университета
- Гагарина Л.В.** канд. биол. наук, младший научный сотрудник Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург)
- Ганнибал Б.К.** канд. биол. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории географии и картографии растительности Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург)
- Гогин И.Я.** докт. геол.-минерал. наук, заведующий отделом стратиграфии и палеонтологии Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (Санкт-Петербург)
- Гранович А.И.** докт. биол. наук, заведующий кафедрой зоологии беспозвоночных биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета
- Драгавцев В.А.** докт. биол. наук, академик РАН, главный научный сотрудник Агрофизического института (Санкт-Петербург)
- Животовский Б.Д.** докт. биол. наук, заведующий лабораторией исследования механизмов апоптоза факультета фундаментальной медицины Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
- Ишбирдин А.Р.** докт. биол. наук, профессор кафедры экологии и ботаники Башкирского государственного университета (Уфа)
- Камбуров В.А.** директор ООО «Институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (Санкт-Петербург)
- Козинцев А.Г.** докт. истор. наук, главный научный сотрудник Музея антропологии и этнографии РАН, профессор кафедры проблем междисциплинарного синтеза в области социальных и гуманитарных наук факультета свободных искусств и наук Санкт-Петербургского государственного университета
- Креславский В.Д.** докт. биол. наук, ведущий научный сотрудник Института фундаментальных проблем биологии РАН (Московская обл., г. Пущино)
- Левченко В.Ф.** докт. биол. наук, заведующий лабораторией Моделирования эволюции Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН (Санкт-Петербург)
- Лукин А.А.** докт. биол. наук, профессор, директор Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства им. А.С. Берга (Санкт-Петербург)

- Масайтис В.В.** канд. с.-х. наук, доцент кафедры защиты леса и охотоведения Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова
- Меншуткин В.В.** докт. биол. наук, ведущий научный сотрудник Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН (Санкт-Петербург)
- Мещерская А.В.** докт. геогр. наук, заведующая лабораторией Главной географической обсерватории им. А.И. Воейкова (Санкт-Петербург)
- Михайленко Р.Р.** канд. техн. наук, начальник управления экологии и системы предупреждения наводнений Дирекции комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации
- Надпорожская М.А.** канд. с.-х. наук, доцент кафедры агрохимии биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, педагог дополнительного образования, руководитель объединения «Экология»
- Озерский П.В.** канд. биол. наук, доцент кафедры зоологии Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена (Санкт-Петербург)
- Окладникова Е.А.** докт. истор. наук, профессор Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена (Санкт-Петербург)
- Олескин А.В.** докт. биол. наук, профессор кафедры общей экологии биологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
- Ошуркова М.В.** докт. геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник отдела стратиграфии и палеонтологии Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (Санкт-Петербург)
- Порошин А.А.** докт. техн. наук, начальник научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Московская обл., г. Балашиха)
- Субетто А.И.** докт. филос. наук, докт. экон. наук, канд. техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ (Москва)
- Тобиас А.В.** канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета
- Уткин Л.В.** докт. техн. наук, профессор кафедры телематики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
- Хватов С.А.** канд. филол. наук, доцент кафедры языковой коммуникации факультета прикладной лингвистики Варшавского университета
- Хрипун В.Д.** канд. хим. наук, доцент кафедры общей и неорганической химии Института химии Санкт-Петербургского государственного университета
- Цуцкарева Г.И.** главный редактор журнала «Рециклинг отходов» (Санкт-Петербург)
- Шашуловский В.А.** докт. биол. наук, директор саратовского отделения Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства им. А.С. Берга
- Шишкин А.И.** канд. техн. наук, профессор Высшей школы технологии и энергетики (Санкт-Петербург)

СВОДНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТОМА 8

Combined contents of volume 8

| | ТЕОРИЯ THEORY | | ПРАКТИКА / PRACTICE |
|--------------|---|--------------|--|
| 2:134 | ПЕРИОДЫ ОЛЕДЕНЕНИЙ И НЕФТЕОБРАЗОВАНИЯ В РАННЕЙ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ. ОБЩАЯ ПРИЧИНА Э.М. Галимов GLACIATION AND OIL FORMATION PERIODS IN THE EARLY HISTORY OF THE EARTH: THEIR COMMON CAUSE E.M. Galimov | 1:1 | ЗАЩИТА ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И СРЕДЫ ИХ ОБИТАНИЯ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАЛОВ НА ПРОМЫСЛЕ ПО ОПЫТУ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА р. ВОЛГА И.А. Евланов, А.К. Минеев, Г.С. Розенберг PROTECTING AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES AND THEIR HABITATS FROM FISHERY TRAWLING BASED ON EXPERIENCE RELATED TO SARATOV RESERVOIR ON THE RIVER VOLGA I.A. Yevlanov, A.K. Mineyev, G.S. Rozenberg |
| 2:143 | ПУТИ «ГЕНЫ-ПРИЗНАКИ» НЕИСПОВЕДИМЫ В.А. Драгавцев, С.И. Малецкий INSCRUTABLE ARE GENES-TO-TRAIT PATHWAYS V.A. Dragavtsev, S.I. Maletsky | 1:10 | ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ПО ОПЫТУ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕК ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С.В. Бузмаков, Е.В. Гуревич, С.А. Журавлев, Л.С. Курочкина, М.Л. Марков PRACTICAL ASPECTS OF DETERMINATION OF FLOOD AREAS BASED ON THE EXPERIENCE OF STUDIES IN LENINGRAD OBLAST S.V. Buzmakov, Ye.V. Gurevich, S.A. Zhuravlev, L.S. Kurochkina, M.L. Markov |
| 2:151 | О ТАКСОЦЕНАХ ХИШНИК-ЖЕРТВА В.В. Хлебович ON PREDATOR-PREY TAXOCENES V.V. Khlebovich | | |
| 2:155 | ГИПОТЕЗА ИНТЕЛЛЕКТОГЕНЕЗА, ПРЕДЛОЖЕННАЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АНАЛОГИЙ, КАК АЛЬТЕРНАТИВА СЛУЧАЙНОСТНОМУ ЭВОЛЮЦИОННОМУ ПРОЦЕССУ (ТИХОГЕНЕЗУ) В.С. Чупов THE HYPOTHESIS OF "INTELLECTOGENESIS" PUT FORWARD BASED ON ANALOGIES AS AN ALTERNATIVE TO THE PROBABILISTIC EVOLUTIONARY PROCESS (TYCHOGENESIS) V.S. Chupov | 2:164 | ОПЫТ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ В.Н. Большаков, И.А. Кузнецова AN EXPERIENCE OF ENVIRONMENTAL MONITORING OF PROTECTED AREAS IN SVERDLOVSK OBLAST V.N. Bolshakov, I.A. Kuznetsova |
| 3:247 | ПРЕОДОЛИМЫ ЛИ ТРУДНОСТИ ПЕРЕХОДА АНТРОПОСФЕРЫ В НООСФЕРУ А.В. Яблоков, В.Ф. Левченко, А.С. Керженцев IS IT POSSIBLE TO SURPASS OBSTACLES IN THE WAY FROM ANTROPHOSPHERE TO NOOSPHERE A.V. Yablokov, V.F. Levchenko, A.S. Kerzhentsev | 2:170 | ВОЗМОЖНОСТЬ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ А.В. Селиховкин, Б.Г. Поповичев ON THE POSSIBILITY TO QUANTITATIVELY ASSESS THE IMPACTS OF CATASTROPHIC FACTORS ON WOODLANDS A.V. Selikhovkin, B.G. Popovichev |
| 3:258 | ОТ МНОГОМЕРНЫХ ФАЗОВЫХ ПРОСТРАНСТВ К МНОГОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВА В ПРИРОДЕ Г.В. Жижин FROM MULTIDIMENSIONAL PHASE SPACES TO MULTIDIMENSIONALITY OF SPACE IN NATURE G.V. Zhizhin | 2:178 | ЦЕНТР ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА МОЛОДЕЖИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДЕЛУ ОХРАНЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ Ю.С. Васильев, И.Е. Асонов, А.М. Кривцов |

- | | | | |
|-------|--|-------|---|
| | <p>SCIENTIFIC AND TECHNICAL CREATIVITY CENTER FOR YOUNG PEOPLE AT SAINT-PETERSBURG POLYTECHNIC UNIVERSITY CONTRIBUTES TO ENVIRONMENTAL PROTECTION Yu.S. Vasilyev, I.E. Asonov, A.M. Krivtsov</p> | 4:381 | <p>ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ МОРСКОГО ПОРТОВОГО КОМПЛЕКСА В ЛУЖСКОЙ ГУБЕ М.А. Мамаева, В.А. Жигульский, Н.А. Царькова, М.Б. Шилин THE ENVIRONMENTAL STRATEGY OF THE DEVELOPMENT OF LUGA BAY SEAPORT COMPLEX M.A. Mamayeva, V.A. Zhigulskiy, N.S. Tsarkova, M.B. Shilin</p> |
| 2:186 | <p>ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ: БЕЛЫЙ ГУСЬ МЕЖДУ «ЧЕРНЫМ ЛЕБЕДЕМ» И «ЗЕЛеноЙ УТКОЙ» С.П. Матвейчук BIOLOGICAL DATA INTERPRETATION AND USE: WHITE GOOSE BETWEEN «BLACK SWAN» AND «GREEN DUCK» S.P. Matveytchuk</p> | 4:381 | <p>ПРИРОДА / NATURE</p> |
| 3:268 | <p>ИЗУЧЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БОТАНИЧЕСКОГО САДА НАН УКРАИНЫ МЕТОДОМ ТЕСТОВЫХ ТРАНСПЛАНТАТОВ О.Б. Блюм, Ю.Г. Тютюнник USING TEST TRANSPLANTS TO STUDY AIR POLLUTION IN THE BOTANIC GARDEN OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE O.B. Blum, Yu.G. Tyutyunnik</p> | 1:16 | <p>ЛИТОРАЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА ЭСТУАРИЯ РЕКИ НЕВЫ: ИХ СТРУКТУРА И ДИНАМИКА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССА А.К. Бродский, Е.С. Панкова, Д.В. Сафронова LITTORAL COMMUNITIES OF THE RIVER NEVA ESTUARY: THEIR STRUCTURE AND DYNAMICS UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT A.K. Brodsky, Ye.S. Pankova, D.V. Safonova</p> |
| 3:277 | <p>ПАНДЕМИИ ГРИППА И ПОДГОТОВКА ЖИВЫХ ГРИППОЗНЫХ ВАКЦИН ДЛЯ ИХ СДЕРЖИВАНИЯ Е.М. Дорошенко, Е.П. Григорьева, И.Н. Исакова-Сивак, Л.Г. Руденко INFLUENZA PANDEMICS AND THE DEVELOPMENT OF LIVE VACCINES FOR THEIR CONTROL Ye.M. Doroshenko, Ye.P. Grigoryeva, I.N. Isakova-Sivak, L.G. Rudenko</p> | 1:28 | <p>СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА ТЕРМОБИОЛОГИЮ С ПОЗИЦИИ ИЗУЧЕНИЯ РЕПТИЛИЙ В.А. Черлин A MODERN OUTLOOK ON THERMAL BIOLOGY FROM THE VIEWPOINT OF STUDYING THE REPTILES V.A. Cherlin</p> |
| 3:287 | <p>ОПЫТ АЛЬГОЛИЗАЦИИ ПИТЬЕВЫХ ВОДОЕМОВ НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА В.В. Кульнев, В.А. Почечун AN EXPERIENCE OF USING GREEN ALGAE FOR THE REHABILITATION OF DRINKING WATER BODIES OF NIZHNETAGILSKIY INDUSTRIAL AGGLOMERATION V.V. Kul'nev, V.A. Pochechun</p> | 1:49 | <p>РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛОБАЛЬНОГО ПРОЦЕССА ОПУСТЫНИВАНИЯ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ПРИКАСПИИ К.М. Петров, В.А. Бананова, В.Г. Лазарева, А.С. Унагаев REGIONAL MANIFESTATION OF GLOBAL DESERTIFICATION IN NORTHWEST PARA-CASPIAN REGION K.M. Petrov, V.A. Bananova, V.G. Lazareva, A.S. Unagaev</p> |
| 4:373 | <p>УЗКИЕ МЕСТА ГЛОБАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО РЕНЕСАНСА И.Л. Рыбальченко BOTTLENECKS OF GLOBAL NUCLEAR RENAISSANCE I.L. Rybalchenko</p> | 1:63 | <p>МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ГРИБЫ В ПОЧВАХ И ГРУНТАХ АРКТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ СИСТЕМ И.Ю. Кирцидели MICROSCOPIC FUNGI IN SOILS AND EARTHS OF ARCTIC MOUNTAIN SYSTEMS I.Yu. Kirtsideli</p> |

| | | |
|-------|--|---|
| 1:79 | <p>НАХОДКИ ИСКОПАЕМЫХ ОСТАТКОВ ДРЕВНИХ РАСТЕНИЙ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ С.М. Снигиревский, Н.С. Снигиревская FOSSIL PLANTS IN THE NORTHWEST PART OF RUSSIAN PLATFORM <i>S.M. Snigirevsky, N.S. Snigirevskaya</i></p> | <p>3:315 ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ ОРГАНИЗМ НА ПРИМЕРЕ КОЛОНИАЛЬНЫХ ГИДРОИДОВ Н.Н. Марфенин DECENTRALIZED ORGANIZATION EXEMPLIFIED WITH COLONIAL HYDROID SPECIES <i>N.N. Marfenin</i></p> |
| 2:202 | <p>СКРЫТОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ГРИБОВ И ГРИБООБРАЗНЫХ ПРОТИСТОВ В ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ Ю.К. Новожилов, В.Ф. Малышева, Е.Ф. Малышева, О.Н. Щепин, Д.В. Азаров, И.В. Змитрович, С.В. Волобуев, А.Е. Коваленко CRYPTIC DIVERSITY OF FUNGI AND FUNGUS-LIKE PROTOZOANS IN NATURAL ECOSYSTEMS: PROBLEMS AND PROSPECTS <i>Yu.K. Novozhilov, V.F. Malysheva, Ye.F. Malysheva, O.N. Schepin, D.V. Azarov, I.V. Zmitrovich, S.V. Volobuyev, A.Ye. Kovalenko</i></p> | <p>4:390 ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ Е.П. Белоусова, И.В. Латышева, С.В. Латышев, К.А. Лощенко, А.С. Щерблякин NATURAL FACTORS OF FOREST FIRES IN IRKUTSK OBLAST <i>Ye.P. Belousova, I.V. Latysheva, S.V. Latyshev, K.A. Loshchenko, A.S. Shcheblykin</i></p> |
| 2:216 | <p>СТРУКТУРА И АРЕАЛЫ ПОПУЛЯЦИЙ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ М.М. Левитин, Н.В. Мироненко THE STRUCTURES AND AREALS OF POPULATIONS OF PHYTOPATHOGENIC FUNGI <i>M.M. Levitin, N.V. Mironenko</i></p> | <p>4:401 ПРОЯВЛЕНИЕ ЗАКОНА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ/ОЛИГОМЕРИЗАЦИИ НА НИЗШИХ УРОВНЯХ РАЗВИТИЯ ЖИВОЙ МАТЕРИИ В.И. Михалевич THE DOGEL'S POLYMERIZATION/OLIGOMERIZATION LAW AS MANIFESTED AT THE LOWER LEVELS OF DEVELOPMENT OF THE LIVING MATTER <i>V.I. Mikhalevich</i></p> |
| 3:291 | <p>МЕТАБОЛОМНЫЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ ЛИТОБИОНТНЫХ СООБЩЕСТВ К.В. Сазанова, Д.Ю. Власов, А.Л. Шаварда, М.С. Зеленская, О.А. Кузнецова METABOLOMIC APPROACH TO STUDYING LYTHOBIONTIC COMMUNITIES <i>K.V. Sazanova, D.Yu. Vlasov, A.L. Shavarda, M.S. Zelenskaya, O.A. Kuznetsova</i></p> | <p>ОБЩЕСТВО / SOCIETY</p> <p>2:226 ИСКУССТВО – НАУКА: ВОЗМОЖНОСТИ «ПЕРЕВОДА» Г.С. Розенберг ART – SCIENCE: WAYS OF «TRANSLATION» <i>G.S. Rozenberg</i></p> |
| 3:301 | <p>НЕКТАР КАК ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ РЕСУРС Э.П. Нарчук, Л.Я. Морева NECTAR AS A RENEWABLE NATURAL RESOURCE <i>E.P. Narchuk, L.Ya. Moreva</i></p> | <p>2:235 ЯЗЫК БИОЛОГИИ – ОДНА ИЗ ОСНОВ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО ЗНАНИЯ И ОБРАЗОВАНИЯ А.В. Балахонов, Л.П. Чурилов THE LANGUAGE OF BIOLOGY AS A KEYSTONE OF INTERDISCIPLINARY NATURAL SCIENCE AND EDUCATION <i>A.V. Balakhonov, L.P. Churilov</i></p> <p>3:338 АЛЬТРУИЗМ И ЭГОИЗМ С ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ И.Г. Лаверычева ALTRUISM AND EGOISM FROM THE POINT OF VIEW OF THE NATURAL SCIENCES <i>I.G. Laverycheva</i></p> |

| | | | |
|-------|---|-------|--|
| 3:362 | РЕАЛЬНЫЕ И РИТУАЛЬНЫЕ ФОРМЫ ОСВОЕНИЯ ПРИРОДЫ У БАТАКОВ ИНДОНЕЗИИ Е.В. Ревуненкова <i>ACTUAL AND RITUAL FORMS OF COPING WITH NATURE BY BATAK PEOPLE IN INDONESIA</i> <i>Ye.V. Revunenkovna</i> | 1:121 | РОД ДОГЕЛЕЙ НА СЛУЖБЕ РУССКОЙ НАУКИ Д.И. Раскин <i>DOGEL CLAN IN THE SERVICE OF RUSSIAN SCIENCE</i> <i>D.I. Raskin</i> |
| 4:429 | ЦВЕТОВОДСТВО В РОССИИ: НЕ УПУСТИТЬ ШАНС Л.С. Шашкова <i>FLORICULTURE IN RUSSIA: CHANCES MUST NOT BE MISSED</i> <i>L.S. Shashkova</i> | 2:243 | СЛАНЦЫ И ГРАНИТЫ ЛЬВА МАХЛАЕВА В СВЕТЕ ЛИТОХИМИИ Я.Э. Юдович, М.П. Кетрис <i>THE LEV MAKHLAYEV'S SHALES AND GRANITES IN THE LIGHT OF LITHOCHEMISTRY</i> <i>Ya.E. Yudovich, M.P. Ketris</i> |
| 4:442 | ПОТРЕБЛЕНИЕ НАРКОТИКОВ, ПСИХОТРОПНЫХ ВЕЩЕСТВ, ТОКСИКОМАНИЯ, АЛКОГОЛИЗМ И КУРЕНИЕ ТАБАКА – ОБЩЕСТВЕННОЕ И ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЕДСТВИЕ, ЕГО АНАЛИЗ И ПУТИ ПРЕОДОЛЕНИЯ Э.И. Слепян <i>DRUGS AND PSYCHOTROPIC SUBSTANCES ABUSE, TOXICOMANIA, ALCOHOLISM, AND SMOKING AS SOCIAL AND NATIONAL CALAMITY: ANALYSIS OF AND WAYS TO OVERCOME IT</i> <i>E.I. Slepyan</i> | 3:372 | РЕЦЕНЗИИ И ДИСКУССИИ / VIEWS AND REVIEWS Рецензия на статью «ПРЕОДОЛИМЫ ЛИ ТРУДНОСТИ ПЕРЕХОДА АНТРОПОСФЕРЫ В НООСФЕРУ» А.И. Суббетто <i>Reviewer's opinion on the paper "IS IT POSSIBLE TO SURPASS OBSTACLES IN THE WAY FROM ANTROPHOSPHERE TO NOOSPHERE"</i> <i>A.I. Subbetto</i> |
| | НАСЛЕДИЕ / HERITAGE | 4:490 | Рецензия на выпуск пятый Маклаевского сборника – книгу «БЕТЕЛЬ, КАВА, КОЛА, ЧАТ. ЖЕВАТЕЛЬНЫЕ СТИМУЛЯТОРЫ В РИТУАЛЕ И МИФОЛОГИИ НАРОДОВ МИРА» Э.И. Слепян <i>Book review:</i> <i>The fifth issue of Maklayev Collection "BETEL, KAVA, COLA, CHAT. CHEWING STIMULANTS IN RITUAL AND MYTHOLOGY"</i> <i>E.I. Slepyan</i> |
| 1:100 | ВОСПОМИНАНИЯ О ЖИЗНИ И НАУЧНОМ ТВОРЧЕСТВЕ НАТАЛИИ СЕРГЕЕВНЫ СНИГИРЕВСКОЙ (09.08.1932–06.12.2015) С.М. Снигиревский <i>REMINISCENCES ABOUT THE LIFE AND CREATIVE WORK OF NATALIA SERGEYEVNA SNIGIREVSKAYA (09.08.1932–06.12.2015)</i> <i>S.M. Snigirevsky</i> | 4:493 | Рецензия на книгу: И.И. Леунов. «ЖИЗНЬ СОВЕТСКОГО АГРОНОМА» Э.И. Слепян <i>Book review: I.I. Leunov. "SOVIET AGRONOMIST'S LIFE"</i> <i>E.I. Slepyan</i> |
| 1:115 | БОТАНИК В.Н. СУКАЧЕВ И РАЗВИТИЕ ИДЕЙ Ч. ДАРВИНА В РОССИИ Я.М. Галл <i>THE BOTANIST V.N. SUKACHEV AND THE DEVELOPMENT OF DARWIN'S IDEAS IN RUSSIA</i> <i>Ya.M. Gall</i> | | |



Подписано в печать **30.03.2017.**
Отпечатано в типографии «Лпринт»:
197374, Санкт-Петербург, ул. Сабировская, 37,
Тел.: **+7(812) 430-91-55.**
Заказ № **1704308.** Тираж **700 экз.**
Цена свободная