

**2019**

**Т. 11, № 1**

**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ  
И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ**



# БИОСФЕРА

ISSN 2077-1371 / [www.21bs.ru](http://www.21bs.ru)

**СЕЛЕКЦИОННАЯ РАБОТА  
ДОЛЖНА ОБЕСПЕЧИВАТЬ  
ПРОДОВОЛЬСТВЕННУЮ  
БЕЗОПАСНОСТЬ  
С УПРЕЖДЕНИЕМ ГЛОБАЛЬНЫХ  
ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА**

**В.А. Драгавцев**

*PLANT BREEDING MUST SECURE FOOD  
AVAILABILITY IN ADVANCE OF GLOBAL  
CLIMATE CHANGES*

*V.A. Dragavtsev*

**ГЛОБАЛЬНЫЕ ГОРОДА:  
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА  
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

**И.А. Шмелева, С.Э. Шмелев**

*GLOBAL CITIES: MULTIPARAMETRIC  
EVALUATION OF THEIR SUSTAINABLE  
DEVELOPMENT*

*I.A. Shmeleva, S.E. Shmelev*

**КОГНИТИВНАЯ МОДЕЛЬ  
КОЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ  
И ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА**

**В.В. Меншуткин, В.Ф. Левченко**

*A COGNITIVE MODEL  
OF COEVOLUTION OF THE BIOSPHERE  
AND THE HUMAN SOCIETY*

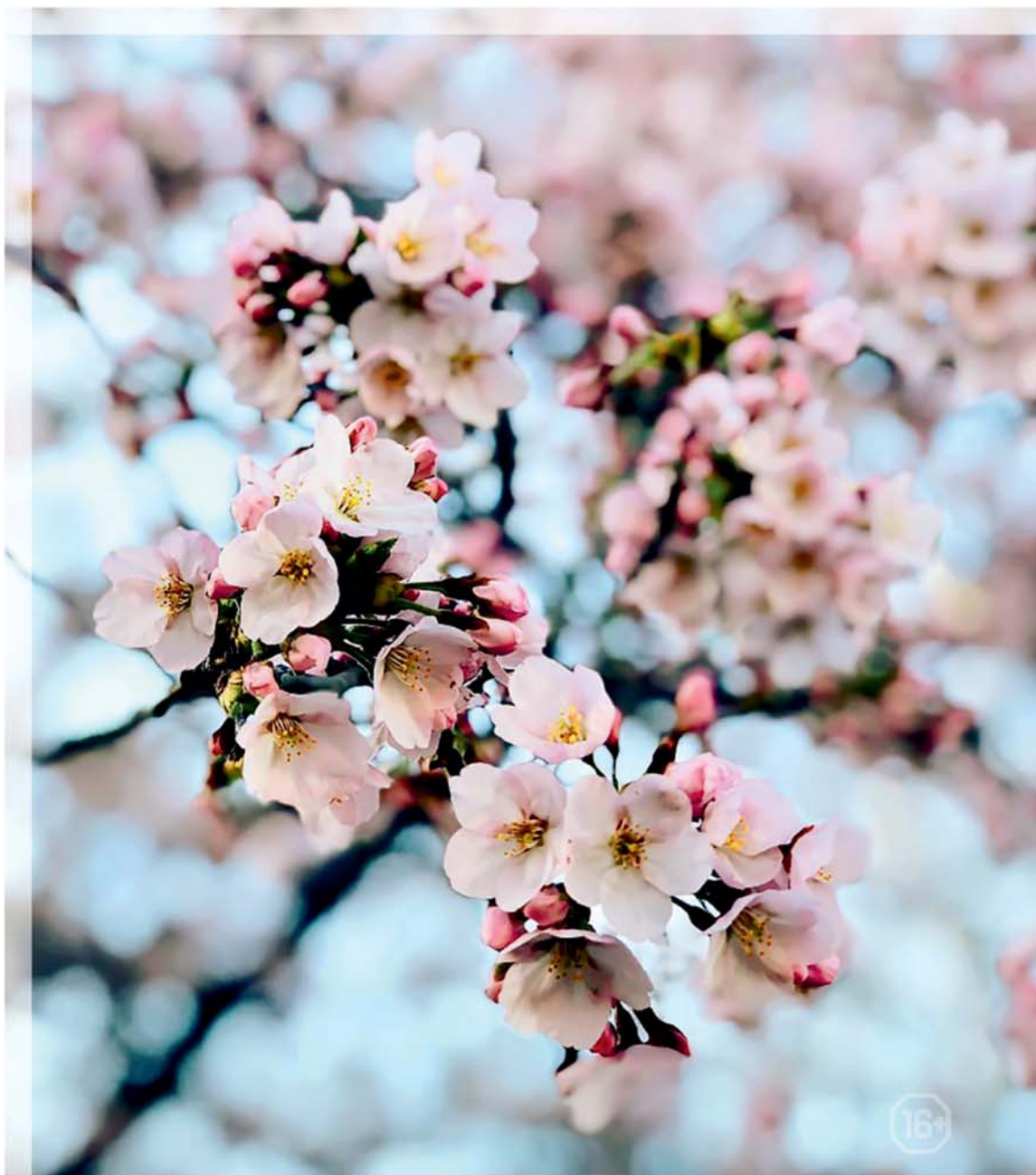
*V.V. Menshutkin, V.F. Levchenko*

**ПОИСК ОСТАТОЧНЫХ  
ВЕЩЕСТВ ПЕСТИЦИДОВ  
В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ  
ПРОДУКЦИИ – ПУТЬ  
К БЕЗОПАСНОМУ  
ПРОДОВОЛЬСТВУ**

**М.О. Петрова, Т.Д. Черменская**

*CHECKING AGRICULTURAL PRODUCE  
FOR RESIDUAL PESTICIDE  
AS A PREREQUISITE OF FOOD SAFETY*

*M.O. Petrova, T.D. Chermenskaya*



16\*



© 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 11, № 1**

Санкт-Петербург  
2019



# BIOSPHERE

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

**Vol. 11, No. 1**

Saint Petersburg  
2019

© «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. Slepian (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. Slascheva*

### **КОРРЕКТОР: Н.А. Натарева**

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.Ja. 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 (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)*

**К. Оболевский**

**(Быгдоць, Польша)**

*K. Obolevsky (Bydgoszcz, Poland)*

**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	<b>СОДЕРЖАНИЕ</b> CONTENTS	<b>ПРАКТИКА / PRACTICE</b>
A4	<u>РЕДАКЦИОННАЯ СТАТЬЯ:</u> <b>СЕЛЕКЦИОННАЯ РАБОТА ДОЛЖНА          ОБЕСПЕЧИВАТЬ ПРОДОВОЛЬСТВЕННУЮ          БЕЗОПАСНОСТЬ С УПРЕЖДЕНИЕМ          ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА</b> <u>EDITORIAL:</u> PLANT BREEDING MUST SECURE FOOD AVAILABILITY IN ADVANCE OF GLOBAL CLIMATE CHANGES	40 <b>ПОИСК ОСТАТОЧНЫХ ВЕЩЕСТВ ПЕСТИЦИДОВ          В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ –          ПУТЬ К БЕЗОПАСНОМУ ПРОДОВОЛЬСТВИЮ</b> <b>М.О. Петрова, Т.Д. Черменская</b> CHECKING AGRICULTURAL PRODUCE FOR RESIDUAL PESTICIDE AS A PREREQUISITE OF FOOD SAFETY M.O. Petrova, T.D. Chermenskaya
	<b>ОБЩЕСТВО / SOCIETY</b>	48 <b>АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ОСЛАБЛЕНИЯ          ХВОЙНЫХ ДРЕВОСТОЕВ В РЕКРЕАЦИОННЫХ          НАСАЖДЕНИЯХ</b> <b>А.С. Алексеев, О.А. Ходачек, А.В. Селиховкин</b> AN ANALYSIS OF FACTORS THAT CAUSE CONIFEROUS STANDS TO DECAY IN RECREATION AREAS A.S. Aleseyev, O.A. Khodachek, A.V. Selikhovkin
1	<b>ГЛОБАЛЬНЫЕ ГОРОДА:          МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА          УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ</b> <b>И.А. Шмелева, С.Э. Шмелев</b> GLOBAL CITIES: MULTIPARAMETRIC EVALUATION OF THEIR SUSTAINABLE DEVELOPMENT I.A. Shmeleva, S.E. Shmelev	<b>ПРИЛОЖЕНИЯ / APPENDICES</b> A9 <b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</b> AUTHOR REFERENCES
19	<b>ПРИРОДА / NATURE</b> <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАВОДКОВ И          НЕКОТОРЫХ БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА          РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОЛЛЮСКОВ СЕМЕЙСТВА          BITHYNIIDAE – ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ХОЗЯЕВ          ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ОПИСТОРХОЗА</b> <b>А.С. Маюрова, М.А. Кустикова</b> A STUDY OF THE INFLUENCES OF RIVER FLOODS AND SOME BIOTIC FACTORS ON THE PREVALENCE OF BITHYNIIDAE SNAILS – INTERMEDIATE HOSTS OF CAUSATIVE AGENTS OF OPISTHORCHIASIS A.S. Mayurova, M.A. Kustikova	
27	<b>ТЕОРИЯ / THEORY</b> <b>КОГНИТИВНАЯ МОДЕЛЬ КОЭВОЛЮЦИИ          БИОСФЕРЫ И ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА</b> <b>В.В. Меншуткин, В.Ф. Левченко</b> A COGNITIVE MODEL OF COEVOLUTION OF THE BIOSPHERE AND THE HUMAN SOCIETY V.V. Menshutkin, V.F. Levchenko	

УДК: 575.22; 575.23; 575.16; 575.162; 575.167

# СЕЛЕКЦИОННАЯ РАБОТА ДОЛЖНА ОБЕСПЕЧИВАТЬ ПРОДОВОЛЬСТВЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ С УПРЕЖДЕНИЕМ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

**В.А. Драгавцев**

Агрофизический институт, Санкт-Петербург, Россия

**PLANT BREEDING MUST SECURE FOOD AVAILABILITY IN ADVANCE OF  
GLOBAL CLIMATE CHANGES**

**V.A. Dragavtsev**

Agrophysical Institute, Saint Petersburg, Russia

21 февраля 2019 г. Госкомиссия по сортоиспытаниям Министерства сельского хозяйства Российской Федерации зарегистрировала и ввела в реестр селекционных достижений сорт яровой мягкой пшеницы «Гренада». Сорт «Гренада» решено возделывать в 9-м крупнейшем уральском растениеводческом регионе, куда входят: 1) Башкирия (около 1 млн га пшеницы), 2) Челябинская область (1 млн га пшеницы), Оренбургская область (4 млн га пшеницы), 4) Курганская область (1 млн га пшеницы). Сорт «Гренада» испытывался в Госсортосети с 2016 г. и показал мощное превышение по урожаю, устойчивости и качеству над всеми стандартными сортами, ранее районированными в этих регионах. Прибавки урожая «Гренады» с суммарной площадью под пшеницей в 9-м регионе (7 млн га) будут давать ожидаемый ежегодный экономический эффект – около 30 млрд рублей.

Сорт был создан по селекционным технологиям, разработанным в соответствии с эколого-генетической теорией организации количественных признаков (ЭГТ). В журнале «Биосфера» суть этой теории была представлена в ряде статей [1–3]. Вкратце: теория базируется на открытии нового эпигенетического феномена – смены спектров продуктов генов под количественным признаком при смене лимитирующего фактора внешней среды. Это значит, что продуктивность в разных условиях определяется сочетаниями активности продуктов разных генов, и критерии селекции, уместные в одних условиях, могут быть совершенно неадекватными в других.



**Академик  
Виктор Александрович Драгавцев**

Но, как говорил Д.И. Менделеев: «Сказать оно все можно, а ты поди продемонстрируй!» Положения теории были обоснованы результатами работы в рамках Кооперативной программы ДИАС («Диаллельные скрещивания») по проекту «Изучение генетики признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири». Проект по инициативе акад. Д.К. Беляева осуществлялся с 1972 по 1982 г. на территории Западной Сибири от Красноуфимска (Урал) до Иволгинска (Забайкалье, Бурятия) с запада на восток и от Тюмени до Усть-Каменогорска с севера на юг силами двух НИИ Сибирского отделения Академии наук (Институт цитологии и генетики и Вычислительный центр) и восьми селекционных центров ВАСХНИЛ. Численность занятых в программе сотрудников превышала 100 человек. Был собран банк данных замеров признаков продуктивности объемом около 5 млн значений у 15 родительских сортов и у 210 гибридов первого гибридного поколения. На каждом растении замеряли 14 признаков продуктивности (в течение двух лет). В каждой точке анализировали динамику главных лимитирующих урожай метеофакторов в процессе вегетации. Генетический анализ вели на ЭВМ по специально созданным сотрудниками Вычислительного центра СО РАН приоритетным программам. Были не только получены теоретические выводы, но и разработаны соответствующие алгоритмы селекции, результатами применения которых и стал сорт «Гренада».

Одним из практических выводов теории является целесообразность создания в Российской Федерации мегаустановки по конструированию прорывных сортов в контролируемых условиях, так называемого Селекционного фитотрона.

Все селекционные компании мира проводят экологические испытания новых предсортов (в Российской Федерации это делает Госкомиссия по сортоиспытанию). Так компания KWS (ФРГ) имеет 150 испытательных полигонов в 55 разных странах. Предсорт, например гетерозисный гибрид сахарной свеклы, испытывается в каждой географической точке 3–4 года. Поэтому создание одного нового сорта сахарной свеклы длится 15–16 лет и обходится в 15–18 млн евро. В Селекционном фитотроне можно поворотами рукоток создать типичную динамику лимитирующих факторов для любой географической точки земли. Объемы испытаний можно сократить до 4 месяцев, а вместо полевых делянок с тысячами растений достаточно 100 растений для каждой среды в вегетационных сосудах Селекционного фитотрона с подавленными экологическими и конкурентными шумами. Эти испытания не будут зависеть от сезона года и от любых случайных парадоксов погоды. Стоимость экологических испытаний в фитотроне можно уменьшить в разы, тем самым снизив стоимость создания сорта и существенно увеличив конкурентоспособ-

ность сортов, созданных в Российской Федерации, на мировых рынках.

С учетом происходящих в настоящее время небывало быстрых климатических изменений селекционный фитотрон необходим для упреждающего создания сортов, продуктивных в условиях, которые могут сформироваться в зоне селекции через 10–15 лет. Потепление (как и похолодание) климата на Земле идет не равномерно, а «пятнами». Климатологи создают прогнозы изменений климата для каждого «пятна». Только в Селекционном фитотроне можно создать климат, который будет в данном регионе через 10–15 лет, и за 5–6 лет на фоне этого будущего климата сконструировать сорт, подогнанный к будущим условиям. Полевая селекция этого сделать не может, так как сорт в поле создается 10–15 лет. Полевая селекция всегда будет отставать на 10 лет от соответствия созданного в поле сорта изменившемуся климату. Это приводит и будет приводить к большим недоборам валовых урожаев. Фитотронные технологии на основе ЭГТ обеспечат упреждающее создание сортов, приспособленных к будущим климатическим условиям в любых точках земли.

Таким образом можно увеличить также и экспортные перспективы новых сортов. В Селекционном фитотроне можно создавать типичную динамику лимитирующих факторов для любой точки земли. Сегодня почти все сорта сельскохозяйственных растений выведены в полевых условиях, где очень низкий процент (0,001%) достоверного «узнавания» самых лучших индивидуальных генотипов при визуальных отборах, кроме того, отсутствует «фазовая» селекция (то есть селекционное улучшение адаптивности каждой фазы онтогенеза), а если год проведения отборов совпадет с нетипичным годом для данной зоны селекции, то предыдущие 6 лет работы селекционера могут просто пропасть. Поэтому все сорта, выведенные в поле, имеют большой резерв повышения продуктивности.

Недавно принята «Стратегия научно-технологического развития РФ», приравненная по значимости к «Стратегии национальной безопасности РФ». Президентом Российской Федерации еще в 2016 г. поручено «предоставить предложения по формированию на базе ведущих научных и образовательных организаций сети Центров превосходства (ЦП) в целях осуществления ими деятельности по реализации приоритетов научно-технологического развития РФ, предусмотрев конкретизацию направлений деятельности, а также механизмов государственной поддержки каждого центра» (газета «Поиск» № 10–11 от 18.03.2016. С. 18). Центров превосходства только в 14 странах ОЭСР более 300. Подобные центры есть и в Российской Федерации, но надо создавать системы таких центров. Всего в Российской Федерации должно быть около 30 ЦП.

Ректор Института науки и технологий (Сколково) акад. А. Кулешов подчеркивал: «Сегодня весь рынок генетического материала и прорывных технологий в растениеводстве поделен между пятью частными зарубежными компаниями, и секреты в этой области охраняются строже военных» (газета «Поиск» № 9 от 4.03.2016. С. 7). Так должно быть и в России, поскольку продовольствие – это «оружие сильнее атомной бомбы». Экс-глава Минобрнауки Дм. Ливанов справедливо указывал: «Займствование технологий неизбежно ведет к догоняющему развитию, и технологического лидерства таким образом не обеспечить» (газета «Поиск» № 29–30 от 24.07.2015. С. 9).

Поэтому в Российской Федерации надо создавать свои приоритетные технологии фитотронной селекции, свои программы, свои биофизические приборы и свое автоматическое оборудование для Селекционного фитотрона, а конечную продукцию – новые сорта – сначала конструировать для растениеводческих территорий Российской Федерации, а потом (по коммерческим договорам с любыми странами) для любого региона земли. К этому нас призывает президент Российской Федерации: «*Надо продвигать отечественные разработки в сфере селекции, генетики и биотехнологии для выпуска качественной экологически чистой и безопасной продукции*» (Совещание по развитию отрасли АПК с министром с/х Российской Федерации Д. Патрушевым («Российская газета» № 228 от 11–17.10.2018. С. 2)). Об этом же говорят президент РАН А.М. Сергеев: «*Нынешняя ситуация не располагает к тому, чтобы мы заимствовали знания и технологии из-за рубежа*» (газета «Поиск» № 46 от 16.11.2018. С. 3) и вице-президент РАН И.М. Донник: «*Если мы не будем заниматься селекцией растений, то за это нам придется платить другим странам*» (газета «Поиск» № 45 от 09.11.2018. С. 13).

Существующая сеть растениеводческих селекционных центров в Российской Федерации (сегодня их около 40) создавалась в СССР в основном в период 1925–1938 гг., некоторые из них были организованы в послевоенные годы. В годы перестройки большинство из них утратили способность эффективно работать, сейчас только около 10 из них с низкой эффективностью повышают урожаи новых сортов, в основном, с помощью устаревших технологий середины прошлого века и старой техники 1970-х.

Поскольку сегодня безусловный приоритет – обеспечение продовольственной безопасности России, и в Стратегии национальной безопасности (СНБ) Российской Федерации записано: «Продовольственная безопасность РФ осуществляется за счет: ...развития селекции и семеноводства...», то, естественно, возникают разные мнения о путях модернизации и развития селекции в Российской Федерации. Так на заседании Президиума Совета при Президенте Российской

Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию Российской Федерации (24 ноября 2014 г., хутор Железный, Краснодарский край) предлагалось создать 134 новых комплексных полевых селекционных центра по нескольким культурам, и специализированных: 2 – по овощным культурам, 1 – по сахарной свекле, 11 – по картофелю. Реализация этого предложения была бы крупной стратегической ошибкой для страны, поскольку в развитых странах уже почти не осталось традиционных полевых селекционных центров и давно устаревших полевых визуальных технологий оценки и отбора лучших генотипов. Современная селекция растений ведется в крупных и хорошо оборудованных Федеральных (ФРГ) или частных (Байер-Монсанта – ФРГ-США; KWS – ФРГ; Сингента – Швейцария) селекционных «заводах». В мире существуют 38 экономически важных направлений селекции растений, 28 из них невозможно вести в полевых условиях – для этого нужен Селекционный фитотрон.

Сегодня в развитых странах агротехнологии доведены почти до возможного «потолка». Дальнейшее повышение урожаев зерновых и зернобобовых в этих странах на 95% зависит от улучшения селекционных технологий, и только на 5% – от улучшения агротехнологий. Эксперты ФАО (в Отчете за 2014 г.) подчеркнули: «*Мировой опыт показал, что техногенная интенсификация растениеводства не способна решить проблему дальнейшего повышения урожаев, но при этом связана с ростом энергозатрат и нарушением экологического равновесия в природе. Глобальный кризис в с/х производстве XXI века требует новой стратегии – биологизации растениеводства, то есть создания устойчивых к абиотическим и биотическим факторам среды новых сортов, гибридов и видов с/х растений*».

Между тем, эйфория от достижений геной инженерии растений начинает понемногу угасать. Многие страны сокращают площади под генно-модифицированными (ГМ) растениями. В 2016 г. Аргентина сократила посевы ГМ-растений на 3%, Индия – на 7, Китай – на 24, Уругвай – на 7%. В Испании, Судане, Мексике, Колумбии, Вьетнаме, Португалии, Бангладеш, Коста-Рике, Словакии, Чехии площади ГМ-растений (в каждой стране) менее 100 тыс. га и не обнаруживают приращения. Румыния в 2016 г. покинула клуб ГМО-стран. ГМ-картофель, устойчивый к колорадскому жуку, не выращивается сегодня нигде в мире. В большинстве стран Европы и в Российской Федерации посевы ГМ-растений запрещены.

Некоторые специалисты считают, что если увеличить финансирование всем полевым селекционным центрам Российской Федерации и купить им новую технику, то все будет в порядке. Не будет! Во многих зернопроизводящих регионах (особенно в Сибири)



сортосмены уже не приводят к повышению валовых сборов зерна. Контрастность погодных условий по годам и примитивные технологии полевой селекции (например, визуальный отбор по фенотипам), давно исчерпавшие себя, препятствуют дальнейшему селекционному повышению урожая. Есть много фактов, когда сорта, созданные в одной зоне, выращиваются совершенно в другой. Так в наши дни в Ленинградской области районирован сорт Красноуфимская 100, созданный на среднем Урале, в Липецкой области выращивали сорта из Одессы, на казахстанской целине возделывали Саратовскую 29, сорт Харьковская 46 оккупировал Алтай, но не Харьковщину, шведский сорт Ранг в 1970-е гг. занимал огромные площади в Тюменской и Омской областях. Можно видеть, сколь низка разрешающая способность методов традиционной полевой селекции.

По мнению академика РАН Л.А. Беспаловой, «Вторая Зеленая революция не обойдется дешево: “все низко висящие вишни уже сорваны”, и для радикального повышения эффективности селекции нужны принципиально новые методы и технологии».

У человека около 25 тыс. генов, у твердой пшеницы – 90 тыс. У мягкой (хлебной) – 124 тыс. Сорт пшеницы – это система, в десятки раз более сложная, чем автомобиль «Мерседес» или самолет «Аэробус». Полевые селекционные центры Российской Федерации можно уподобить колхозным кузницам, которые могут делать сорта-телеги, в лучшем случае – сорта-танки, но они никогда не сделают сорт-мерседес или сорт-аэробус. Для этого нужен ультрасовременный селекционный «завод» – Центр превосходства по се-

лекции растений. Он может стать Центром коллективного пользования для селекционеров Российской Федерации и стран Евразийского союза. Его сердцевинной должен быть Селекционный фитотрон.

Мегапроект «Центр превосходства с Селекционным фитотроном» получил широкую поддержку среди специалистов, руководителей и инстанций самого высокого ранга; в их числе: Комитет Государственной Думы Российской Федерации по науке и наукоемким технологиям (письмо за подписью академика В.А. Черешнева от 18.04.2011 № исх. 3.30-25/93); Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы (ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ) в письме от Департамента науки и технологий Минобрнауки России от 24.09.2013 за № 14-ЛГ-МОН-21520; Объединенный пленум Центрального совета Вавиловского общества генетиков и селекционеров и Научного совета по генетике и селекции РАН (27.06.2015, СПб.); ВНИИ риса (письмо за подписью директора С.В. Гаркуши); Новосибирский филиал Института леса РАН (директор профессор В.В. Тараканов), ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса (директор академик РАН, профессор В.М. Косолапов); Национальный союз селекционеров и семеноводов России при МСХ РФ (за подписью зам. директора, руководителя Секции Органического земледелия, профессора В.И. Старцева). 30 января 2019 г. проект «Селекционный фитотрон» поддержан Российским соевым союзом (письмо Президента Российского соевого союза, члена НЭС Комитета АПК ГД РФ, профессора А.В. Санакина).

В России наилучшие условия для создания такого центра существуют в Санкт-Петербурге.

### Литература

1. Драгавцев ВА. Уроки эволюции генетики растений. Биосфера. 2012;4:251-62.
2. Драгавцев ВА, Малецкий СИ. Эволюция парадигм наследования и развития и их ведущая роль в создании инновационных селекционных технологий. Биосфера. 2015;7:155-68.
3. Драгавцев ВА, Малецкий СИ. Пути «гены-признаки» неисповедимы. Биосфера. 2016;8:143-50.

### References

1. Dragavtsev VA. Lessons from the evolution of plant genetics. Biosfera. 2012;4:251-62.
2. Dragavtsev VA, Maletskiy SI. The evolution of paradigms of heredity and development and their leading role in designing of innovative breeding technologies. Biosfera. 2015;7:155-68.
3. Dragavtsev VA, Maletskiy SI. Inscrutable are genes-to-trait pathways. Biosfera. 2016;8:143-50.



# ГЛОБАЛЬНЫЕ ГОРОДА: МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

И.А. Шмелева<sup>1\*</sup>, С.Э. Шмелев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт дизайна и урбанистики, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Environment Europe Ltd, Оксфорд, Великобритания

\* Эл. почта: irina\_shmeleva@hotmail.com

Статья поступила в редакцию 11.03.2019; принята к печати 09.04.2019

Многокритериальная оценка устойчивого (sustainable) и умного (smart) развития городов необходима для реализации нового стратегического направления трансформации городов с целью снижения их воздействия на окружающую среду, увеличения занятости, стимулирования экономического развития и улучшения качества жизни. Анализ показателей развития 143 городов мира, включая Лондон, Нью-Йорк, Гонконг, Сан-Франциско, Лос-Анджелес, Сан-Паулу, Рио-де-Жанейро, Буэнос-Айрес, Париж, Берлин, Стокгольм, Москву, Пекин, Сеул, Сингапур, Шанхай, Сидней и Токио, проведен методом многокритериального оценивания по 20 индикаторам. Были выявлены основные факторы, влияющие на выбросы CO<sub>2</sub> в городах, включая доли угля и возобновляемых источников в энергетике, уровень развития общественного транспорта, особенности велосипедного и пешеходного движения, степень переработки отходов, а также налог на выбросы углерода. Результаты показывают, что среди глобальных городов Сан-Франциско лидирует при выборе экономических и экологических факторов как приоритетных, Стокгольм – при выборе социальной направленности и разумности развития в качестве приоритетов. Сеул показывает очень хорошие показатели по всему спектру индикаторов. В статье обсуждаются стратегии, средства и показатели, которые позволяют городам лидировать в направлении устойчивого и умного развития. Такой подход может быть полезен для лиц, принимающих решения, а также для инвесторов и может помочь в идентификации связей между различными сторонами устойчивого и умного развития, а также выявлению потенциала устойчивого развития и инвестиционных возможностей в городах.

**Ключевые слова:** глобальные города, устойчивое развитие, многокритериальное оценивание, выбросы CO<sub>2</sub>, наилучшие практики.

## GLOBAL CITIES: MULTIPARAMETRIC EVALUATION OF THEIR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

I.A. Shmeleva<sup>1\*</sup>, S.E. Shmelev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Design and Urban Studies, ITMO University, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup>Environment Europe Ltd, Oxford, United Kingdom

\* Email: irina\_shmeleva@hotmail.com

A new strategic direction for greening our cities and making them smart to reduce the environmental impact of their performance, increase employment and economic viability and to enhance the quality of life requires a thorough assessment of sustainability and smart urban performance. The research presented in this paper is based on data on 143 global cities including London, New York, Hong Kong, San Francisco, Los Angeles, Sao Paulo, Rio de Janeiro, Buenos Aires, Paris, Berlin, Stockholm, Moscow, Beijing, Seoul, Singapore, Shanghai, Sydney and Tokyo. Exploring linkages between different sustainability and smart city dimensions, this study applied a multi-criteria approach using a panel of 20 indicators to assess urban sustainability performance of global cities. The assessment focused on the drivers of CO<sub>2</sub> emissions in cities, including important aspects of energy transitions, the share of coal in the energy mix and renewable energy, public transport, cycling patterns and pedestrianisation, waste recycling as well as carbon tax. The results show that San Francisco leads in economic and environmental priorities, and Stockholm leads in social and smart city priorities. Seoul consistently performs very successfully across the whole spectrum of indicators. We devote considerable attention to the strategies, policies and performance of the leading cities, namely, San Francisco, Stockholm and Seoul. This assessment could be a valuable tool for policy makers and investors, and could help identify linkages between different sustainability dimensions, as well as sustainable development potential and investment opportunities in cities.

**Keywords:** global cities, sustainable development, multidimensional assessment, carbon emissions, best practices.

## Введение

Как измерить устойчивое развитие<sup>1</sup> глобальных городов? Лучше ли они справляются с продвижением политики в области устойчивого развития и с практическими инновациями, чем другие города? В данной статье рассматриваются исследования по вопросу о применении индикаторов устойчивого развития городов и предлагается новый подход к их оценке. Результаты наших исследований говорят о том, что показатели устойчивого развития столичных городов незначительно отличаются от глобальных городов. В то же время в столицах стран Организации по экономическому сотрудничеству и развитию (ОЭСР) показатели в среднем лучше и выбросы CO<sub>2</sub> ниже, чем в прочих городах. В целом наши результаты показывают, что существует значительный потенциал по достижению городами целей устойчивого развития<sup>2</sup>.

Проблемы устойчивого развития городов начали привлекать к себе большое внимание в Европе, США, в Китае и Латинской Америке после проведения Саммита по устойчивому развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г., что было отмечено в нашей работе «Методологические проблемы междисциплинарного исследования устойчивого развития крупных городов», опубликованной в журнале Биосфера в 2010 г. [1]. Дальнейшее развитие тема получила в отчете по Зеленой экономике Программы окружающей среды ООН, где устойчивость городов стала одной из важных размерностей<sup>3</sup>, на Саммите «Рио + 20» в 2012 г.<sup>4</sup>, в особенности – в Программе ООН по населенным пунктам (UN-Habitat)<sup>5</sup>, на недавнем форуме Habitat III, прошедшем в Кито (Эквадор) в 2016 г.<sup>6</sup>, и на Всемирном урбанистическом форуме в Куала-Лумпуре, Малайзия, в 2018 г.

<sup>1</sup> Устойчивое развитие (Sustainable Development) – согласно определению комиссии Г.Х. Брундтланд – это «развитие, которое обеспечивает удовлетворение потребностей ныне живущих поколений без ущерба для возможностей будущих поколений». Подробная дискуссия по поводу данного понятия представлена в нашей статье в журнале Биосфера, 2010; 2(1):112-25 [1].

<sup>2</sup> Цели устойчивого развития (Sustainable Development Goals) – 17 Целей устойчивого развития (ЦУР), соответствующие им подцели, задачи и индикаторы определены и приняты ООН в 2015 г. как задающие ориентиры мирового развития. <https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html>

<sup>3</sup> UNEP, 2011. Towards a Green Economy. Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. [https://www.cbd.int/financial/doc/green\\_economyreport2011.pdf](https://www.cbd.int/financial/doc/green_economyreport2011.pdf)

<sup>4</sup> UN. Technical report by the Bureau of the United Nations Statistical Commission (UNSC) on the process of the development of an indicator framework for the goals and targets of the post-2015 development agenda. Working draft. 2015 (a).

<sup>5</sup> UN HABITAT. Planning and Design for Sustainable Urban Mobility: Global Report on Human Settlements. 2013; <https://unhabitat.org/planning-and-design-for-sustainable-urban-mobility-global-report-on-human-settlements-2013/>

<sup>6</sup> UN HABITAT. Urbanisation and Development. Emerging Futures. 2016; <https://unhabitat.org/wp-content/uploads/2014/03/WCR-%20Full-Report-2016.pdf>.

Новый UN-Habitat о мировых городах прочно связывает предлагаемую в программе «Новую урбанистическую повестку дня» с 17 Целями устойчивого развития (ЦУР), принятыми в Париже в конце 2015 г. Цель устойчивого развития № 11 «Устойчивые города и сообщества» ставит задачу «сделать города и поселения демократичными, безопасными, прочными и устойчивыми»<sup>7</sup>. Европейская экономическая комиссия ООН и Международный телекоммуникационный союз в 2016 г. начали новую инициативу, получившую название «Единение ради умных и устойчивых городов» («United for Smart and Sustainable Cities»)»<sup>8</sup>.

Устойчивое развитие городов рассматривалось в работах Наесса (Naess, 1995) [22], Холла и Пфайфера (Hall and Pfeiffer, 2000) [14], Жирарде (Girarde, 2004, 2014) [9, 10], Битхаса и Христофакиса (Bithas and Christofakis, 2006) [4], Шмелева и Шмелевой (Shmelev and Shmeleva, 2009) [33], Дассена с коллегами (Dassen et al., 2013) [5], Холла (Hall, 2014) [13], Мартина и Райса (Martin and Rice, 2014) [24] и других. Устойчивость городского развития понимается нами как многомерная способность города успешно функционировать в экономической, социальной и экологических размерностях одновременно. Согласно Холлу и Пфайфер [14], таксономия городов очень сложна и не дает возможности представить классификацию городов только по одному основанию. Многомерная природа городской системы определяет основной выбранный нами аналитический метод для оценки устойчивого развития городов, а именно – метод многокритериальной поддержки принятия решений [25], предложенный Б. Руа (Roy, 1996) и адаптированный нами в 2017 г. к оценке городов [29].

Римская декларация – «Создание более умных и устойчивых городов: стремление к целям устойчивого развития», принятая в мае 2016 г. на форуме ООН, – провозгласила, что города должны стать более умными путем применения технологических решений для целого ряда общих городских задач устойчивого развития<sup>9</sup>. Европейская экономическая и социальная комиссия ООН считает умные устойчивые города мощным источником роста, производительности и занятости. Умный<sup>10</sup> и устойчивый город определяется как «инно-

<sup>7</sup> UN. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015, A/RES/70/1.2015.

<sup>8</sup> UNECE and ITU. Rome Declaration. 2016; <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/Documents/Forum-on-SSC-UNECE-ITU-18-19-May-2016/Rome-Declaration-19May2016.pdf>.

<sup>9</sup> UNECE and ITU...

<sup>10</sup> Умный город (Smart City) – существует множество определений «умного» города. Ключевая концепция базируется на идее интеграции человеческого и социального капитала с возможностями и инфраструктурой информационно-коммуникационных технологий для достижения высокого качества жизни и сбалансированного экономического развития. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/246019/bis-13-1209-smart-cities-background-paper-digital.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/246019/bis-13-1209-smart-cities-background-paper-digital.pdf). Традиционно выделяется 6 размер-

вационный город, который использует информационные и коммуникационные технологии и другие средства для улучшения качества жизни, эффективности городских операций и услуг и конкурентоспособности, в то же время обеспечивая потребности настоящих и будущих поколений по отношению к экономическим, социальным и экологическим, а также культурным аспектам»<sup>11</sup>. В современной дискуссии вопрос о различиях или взаимосвязи аспектов умного и устойчивого развития выходит на передний план<sup>12, 13</sup> [2].

При рассмотрении перспектив развития городов после 2018 г. отмечено, что центральной проблемой станет изменение климата и что к 2030 г. миллионы людей и 4 триллиона долларов активов будут подвергаться риску экстремальных климатических катаклизмов [3]. По данным исследований, города ответственны за 75% глобальных выбросов CO<sub>2</sub> и будут испытывать ощутимые воздействия от их последствий. Одним из значимых индикаторов оценки устойчивости городов является объем выбросов диоксида углерода. В этой статье будут представлены результаты регрессионного анализа, связывающего городские выбросы CO<sub>2</sub> с различными внешними, инфраструктурными, политическими, поведенческими и технологическими переменными. В исследовании была использована база данных по 140 глобальным городам, составленная компанией Environment Europe<sup>TM</sup>. Далее в статье будут приведены результаты интегрального анализа устойчивости глобальных городов и рассмотрены в качестве примеров три города из числа лидеров нашего рейтинга.

## Индикаторы умного и устойчивого развития городов

Существующие системы индикаторов умных и устойчивых городов включают в себя следующие документы: 1) «Руководство и методология ООН по индикаторам устойчивого развития» (2007)<sup>14</sup>; 2) «Инди-

ностей умного города: экономика, мобильность, окружающая среда, управление, повседневная жизнь в городе и умные горожане, но, например, в Барселоне выделено 22 приоритетных направления. <https://journals.openedition.org/factsreports/4367>

<sup>11</sup> UNECE. United for Smart Sustainable Cities (U4SSC). 2016; <https://www.unece.org/housing-and-land-management/united-4-smart-sustainable-cities-u4ssc.html>

<sup>12</sup> Умное развитие города – это процесс, в котором использование цифровых технологий, инфраструктуры, социальный капитал и вовлеченность граждан в обсуждение и принятие решений делают город более адаптивным к различным вызовам и одновременно более удобным для жизни. <https://www.centreforcities.org/reader/smart-cities/what-is-a-smart-city/1-smart-cities-definitions/>

<sup>13</sup> Collection Methodology for Key Performance Indicators for Smart Sustainable Cities <https://www.itu.int/en/publications/Documents/tsb/2017-U4SSC-Collection-Methodology/index.html#p=14>

<sup>14</sup> UN, 2007. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies, New York: UN. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/guidelines.pdf>

каторы устойчивого развития Европейского союза» (2007, 2016)<sup>15, 16</sup>; 3) «Системы индикаторов устойчивого развития Европейской экономической комиссии ООН»<sup>17</sup>; 4) Стандарты ISO 37120 по устойчивому развитию сообществ<sup>18</sup>, (ISO, 2014) и ГОСТ Р ИСО 37120-2015 «Устойчивое развитие сообщества. Показатели городских услуг и качества жизни» (ГОСТ, 2015)<sup>19</sup>; 5) «Система целей устойчивого развития ООН, 2015»<sup>20</sup>; 6) «Система индикаторов умных и устойчивых городов Экономического и социального совета ООН»<sup>21</sup>. Системы индикаторов устойчивого развития подробно обсуждены в ряде сравнительных обзоров авторами из различных стран [8, 11, 15–18, 20, 24, 35, 36]. Надо отметить, что в последнее десятилетие наблюдается рост интереса исследователей к оценкам устойчивости городов, основанных на индикаторах [21, 27, 28, 33, 37–40].

Понятие о «глобальном городе» было введено в начале 1990-х гг. Саскией Сассен [26]. Оно стало обозначать крупнейшие центры мировой экономики, при этом подчеркивается роль международных организаций и глобального бизнеса в их развитии. Затем в исследования глобальных городов были включены вопросы их устойчивого развития [12]. В настоящее время Глобальный индекс городов оценивает успех городов по 27 различным метрикам в пяти размерностях, к которым относятся: 1) бизнес-активность (30%), представленная потоком капитала, рыночной динамикой и основными компаниями; 2) человеческий капитал (30%), выраженный через уровень образования; 3) обмен информацией (15%), представленный доступом к информации через Интернет и другие источники; 4) культурный опыт (15%), характеризующийся доступом к основным спортивным событиям, музеям и выставкам, и 5) включенность в политиче-

<sup>15</sup> European Commission. State of European Cities Report, Adding Value to European Urban Audit; 2007; [http://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/studies/pdf/urban/stateofcities\\_2007.pdf](http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/urban/stateofcities_2007.pdf)

<sup>16</sup> Eurostat. Urban Europe. Statistics on cities, towns and suburbs. 2016; <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistical-books/-/KS-01-16-691>

<sup>17</sup> UNECE. Framework and suggested indicators to measure sustainable development, Prepared by the Joint UNECE/Eurostat/OECD Task Force on Measuring Sustainable Development 27 May. 2013. [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/2013/SD\\_framework\\_and\\_indicators\\_final.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/2013/SD_framework_and_indicators_final.pdf)

<sup>18</sup> ISO 37120:2014 Sustainable development of communities – Indicators for city services and quality of life

<sup>19</sup> ГОСТ(2015) Р ИСО 37120-2015 Устойчивое развитие сообщества. Показатели городских услуг и качества жизни. GOST (2015) ISO 37120:2014 [Sustainable development of communities – Indicators for city services and quality of life].

<sup>20</sup> UN Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015, A/RES/70/1.2015

<sup>21</sup> UNECE. The UNECE-ITU Smart Sustainable Cities Indicators. 2015; [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/documents/2015/ECE\\_HBP\\_2015\\_4.en.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/documents/2015/ECE_HBP_2015_4.en.pdf)

ский процесс (10%), выраженный через политические события, институты и посольства. Однако Глобальный индекс городов не включает в себя экологические и социальные размерности, что необходимо для оценки устойчивого развития города.

Проведенный нами сравнительный анализ трех наиболее известных систем оценивания устойчивого развития городов, а именно Индикаторов целей устойчивого развития ООН<sup>22</sup>, Стандарта ISO 37120 «Устойчивое развитие сообществ» 2014<sup>23</sup>, и Системы индикаторов умных и устойчивых городов UNECE-ITU<sup>24</sup>, выявил различия в фокусе внимания,

<sup>22</sup>UN. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015, A/RES/70/1.2015.

<sup>23</sup>ISO 37120:2014 Sustainable development of communities – Indicators for city services and quality of life.

<sup>24</sup>UNECE. Framework and suggested indicators to measure sustainable development, Prepared by the Joint UNECE/Eurostat/OECD Task Force on Measuring Sustainable Development 27 May. 2013. [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/2013/SD\\_framework\\_and\\_indicators\\_final.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/2013/SD_framework_and_indicators_final.pdf)

балансе между экономическими, социальными и экологическими размерностями и некоторые несоответствия. Система индикаторов целей устойчивого развития ООН ориентирована в большей степени на оценку проблем развивающихся стран. Некоторые из более чем 200 индикаторов имеют нечеткие определения, в результате чего оказываются трудно применимыми. Стандарт ISO 37120:2014 содержит более ясно определенные индикаторы, хотя социальные и экологические аспекты получают несколько больший приоритет, нежели экономические и «умные». Напротив, Система индикаторов «умных» и устойчивых городов UNECE-ITU является более сбалансированной по различным размерностям устойчивого и «умного» развития и характеризуется более цельным видением ситуации.

Выбор отдельных индикаторов для оценки городов в данном исследовании был основан на наших предыдущих работах [1, 29, 30, 31, 33, 34]. Процесс выбора индикаторов проходил в два этапа. Сначала был проанализирован большой набор параметров, включающий: 1) экономические индикаторы (доход на душу населения по паритету покупательской способности, коли-

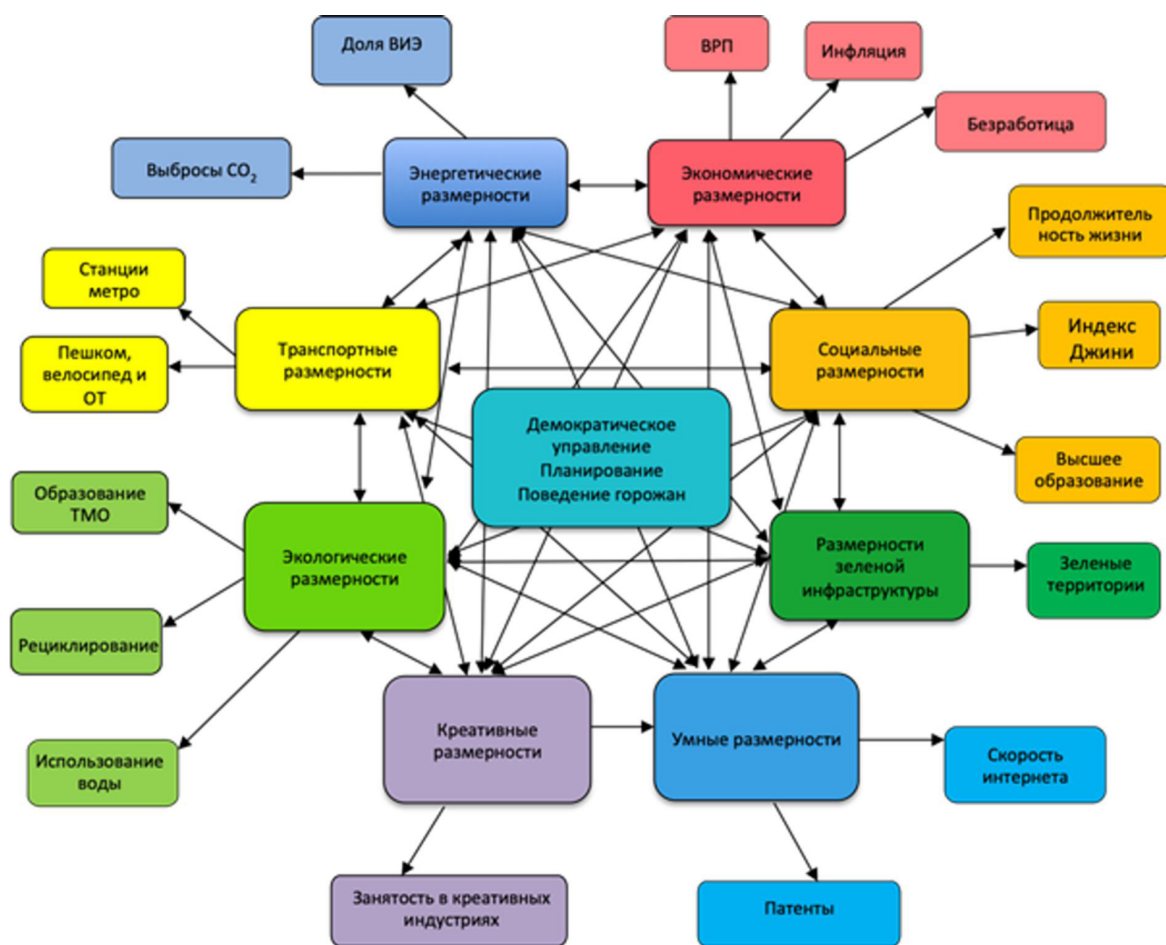


Рис. 1. Концептуальная диаграмма методологии оценки устойчивых и умных городов

чество крупных компаний, имеющих штаб-квартиру в данном городе, занятость в креативных секторах); 2) экологические индикаторы (выбросы CO<sub>2</sub> в расчете на душу населения, концентрации PM<sub>10</sub>, использование воды на душу населения, образование отходов на душу населения, уровень рециклирования твердых муниципальных отходов); 3) социальные индикаторы (уровень безработицы, индекс неравенства доходов (коэффициент Джини), продолжительность жизни).

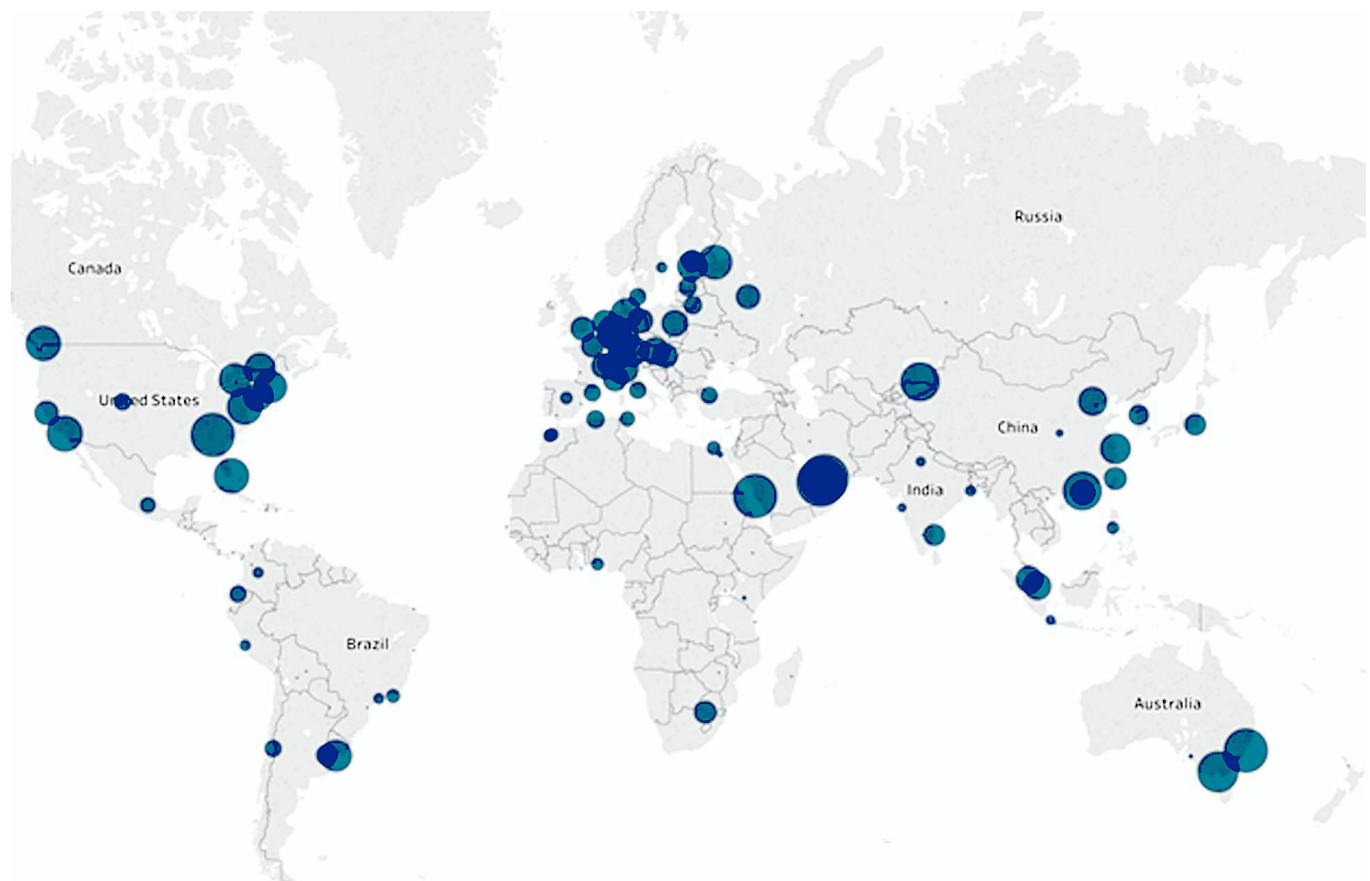
После проведения анализа методом главных компонент [29], исключения сильно коррелирующих переменных и добавления новых размерностей набор индикаторов в результате нескольких итераций принял свою окончательную форму с двадцатью индикаторами. Данная процедура была необходима для того, чтобы получить минимальный набор индикаторов, наиболее полно описывающий устойчивость развития города. Структурная диаграмма, иллюстрирующая методологию выбора индикаторов для оценивания, представлена на рис. 1.

В данном исследовании мы использовали базу данных по устойчивым городам Environment Europe™ –

коммерческий продукт, который мы разработали в качестве нашего основного депозитария данных по 143 городам Европы, Северной Америки, Южной Америки, Африки, Азии и Океании. Эти данные были получены из широкого спектра источников, включая Евростат 2016<sup>25</sup>, данные правительств городов<sup>26</sup>, а также данные UN-Habitat, Всемирного банка, проекта агентства Блумберг по учету выбросов углерода. Географическое распределение городов в базе данных представлено на рис. 2. Мы иллюстрируем его на этом рисунке с помощью информации по выбросам CO<sub>2</sub> в каждом городе. Выбросы CO<sub>2</sub>, как видно на рис. 2, особенно высоки в Мельбурне и Сиднее, Дубае и Дохе, Майами, Шанхае, Алматы и гораздо ниже – в Стокгольме, Сан-Франциско, Нью-Йорке, Токио, Рио-Жанейро, Париже и Мадриде.

<sup>25</sup> Eurostat. Urban Europe. Statistics on cities, towns and suburbs. 2016; <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistical-books/-/KS-01-16-691>.

<sup>26</sup> San Francisco Department of the Environment. San Francisco Climate Action Strategy.2013: [https://sfenvironment.org/sites/default/files/engagement\\_files/sfe\\_cc\\_ClimateActionStrategyUpdate2013.pdf](https://sfenvironment.org/sites/default/files/engagement_files/sfe_cc_ClimateActionStrategyUpdate2013.pdf).



**Рис. 2.** Выбросы CO<sub>2</sub>

Источник: База данных устойчивых городов Environment Europe™, 143 глобальных города, 2018.

### Факторы, влияющие на выбросы CO<sub>2</sub> в глобальных городах

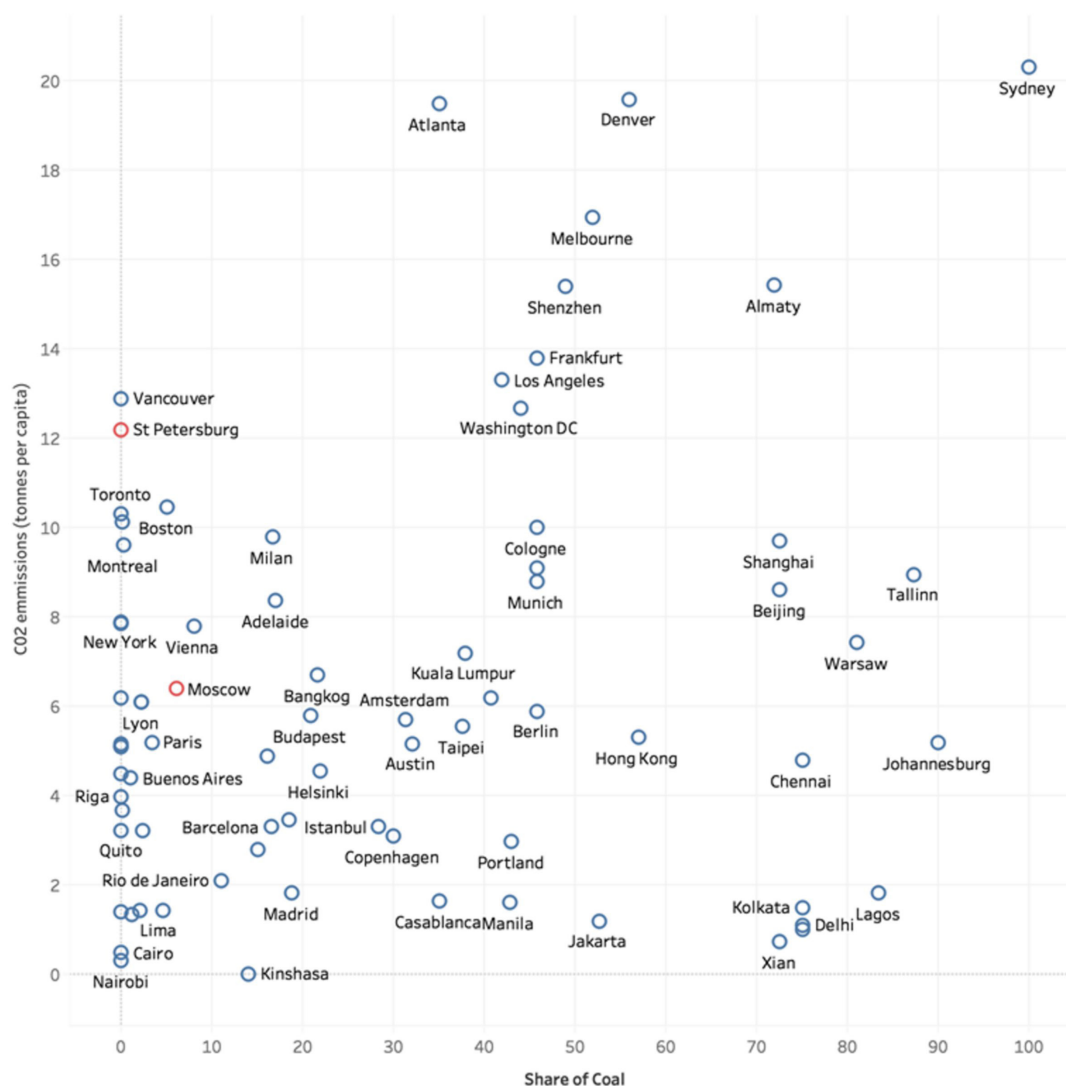
В этом разделе будут рассмотрены ключевые факторы, воздействующие на выбросы CO<sub>2</sub> в глобальных городах. Исследуя междисциплинарные связи между индикаторами устойчивого развития<sup>27</sup>, мы тестируем разнообразные причины таких выбросов с помощью регрессионного анализа. Точная формулировка гипотез основана на наших предыдущих исследованиях [29, 32, 33].

Подтверждение нашей гипотезы о высокозначимой корреляции между выбросами CO<sub>2</sub> и долей угля в энергетическом балансе города свидетельствует о

<sup>27</sup> Environment Europe LTD: <http://environmenteurope.org/>

необходимости срочной трансформации и декарбонизации энергетического сектора. В таких городах, как Сидней, Варшава, Алматы, Гонконг, Денвер, Портленд, Лос-Анджелес, Вашингтон, Шэньчжэнь, высоки как уровни использования угля в энергетике, так и выбросы CO<sub>2</sub> в расчете на душу населения. С другой стороны, в таких городах, как Сан-Паулу, Рио-де-Жанейро, Богота, Кито, Мадрид, Аделаида, Копенгаген и Рим, относительно низки как уровни использования угля в энергетическом балансе, так и выбросы CO<sub>2</sub> в расчете на душу населения (рис. 3).

В нашем исследовании была обнаружена статистически значимая корреляция между выбросами CO<sub>2</sub> и совокупной долей поездок на общественном транспорте, на велосипеде и перемещений (прохождений



**Рис. 3.** Корреляция между выбросами CO<sub>2</sub> на душу населения в год и долей угля в энергетическом балансе глобальных городов. Российские города обозначены красным цветом, прочие – синим. Источник: База данных устойчивых городов Environment Europe™, 2018.

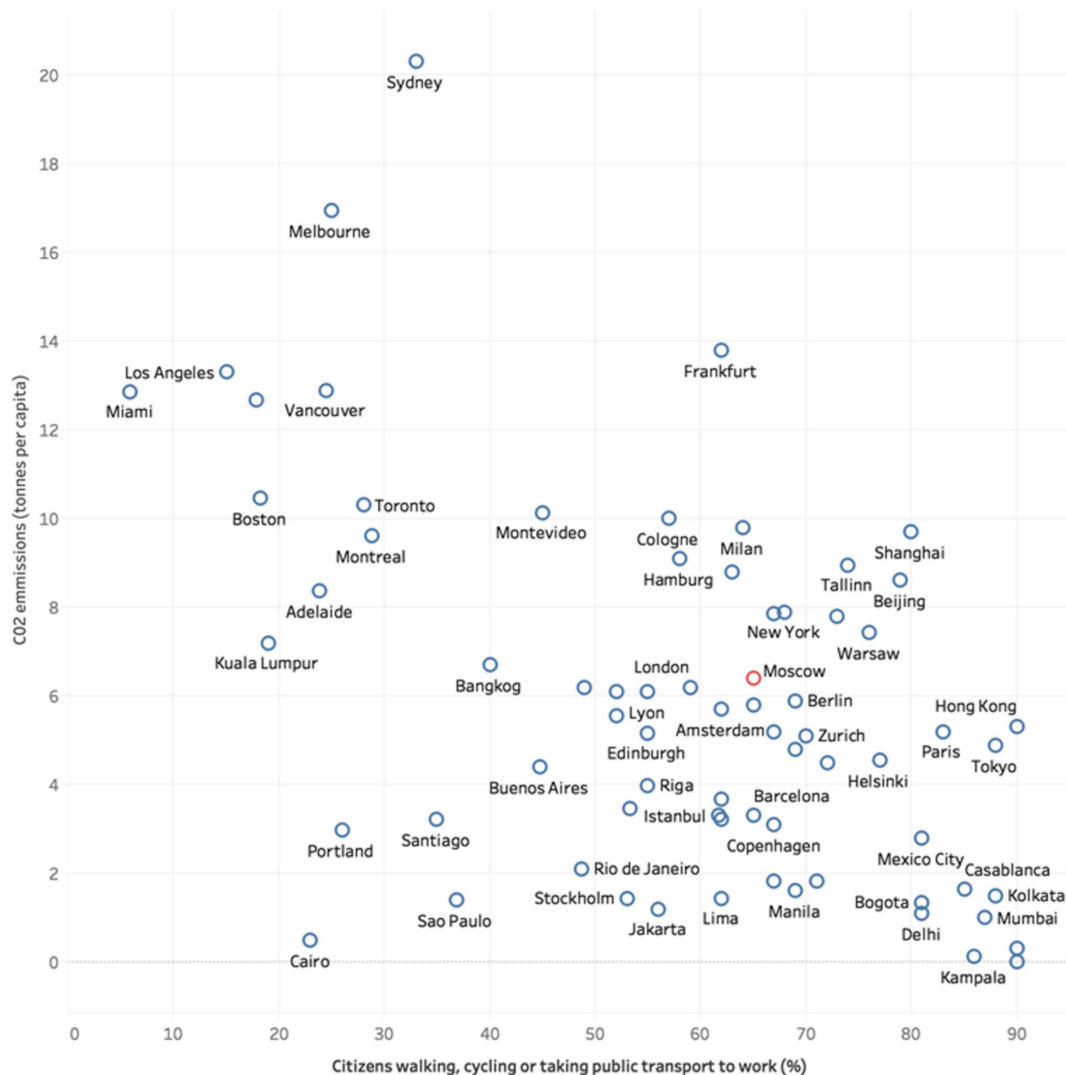


по городу) пешком (рис. 4). Подтверждение гипотезы о том, что доля поездок на общественном транспорте или велосипеде и перемещений (прохождений по городу) пешком ведет к более низкому уровню выбросов  $\text{CO}_2$ , способствует пониманию того, какие методы городского планирования могут приводить к снижению выбросов парниковых газов.

В таких городах, как Стокгольм, Мумбай, Богота, Дели, Мехико, Париж, Амстердам, Сеул, Барселона, Сан-Паулу, Берлин, Сингапур и Москва, велика совокупная доля перемещений на общественном транспорте, на велосипеде или пешком, что ассоциируется с более низкими выбросами  $\text{CO}_2$  в расчете на душу населения. С другой стороны, в таких городах, как Сидней, Шэньчжэнь, Алматы, Лос-Анджелес, Майа-

ми, Куала-Лумпур, Бостон, Ванкувер и Торонто, широко используются частные автомобили, и показатель выбросов  $\text{CO}_2$  гораздо выше (рис. 4).

На высоком уровне статистической значимости в нашем исследовании подтверждена гипотеза [6] о роли возобновляемой энергии в сокращении выбросов  $\text{CO}_2$  в глобальных городах (рис. 5). Этот факт объясняет более низкие выбросы  $\text{CO}_2$  в расчете на душу населения в таких городах, как Сан-Паулу, Богота, Монреаль, Стокгольм, Рио-де-Жанейро, Цюрих и Копенгаген, где более широко используется гидроэнергия или ветряная энергия. В то же время, в таких городах, как Сидней, Атланта, Алматы, Франкфурт, Майами, Санкт-Петербург, Шанхай, Бостон, Лос-Анджелес, Ванкувер и Шэньчжэнь, уровень возобнов-



**Рис. 4.** Корреляция между выбросами  $\text{CO}_2$  и перемещениями (прохождений по городу) пешком, на велосипеде и общественным транспортом. Российские города обозначены красным цветом, прочие – синим  
Источник: База данных устойчивых городов Environment Europe™, 2018.

ляемых источников в энергетическом балансе ниже, а выбросы CO<sub>2</sub> выше (рис. 5).

Опираясь на данные, в полном объеме описывающие 71 город, содержащиеся в Базе данных устойчивых городов Environment Europe™, мы смогли сформулировать линейную регрессионную модель вида:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_7X_7, \quad (1)$$

где Y – выбросы CO<sub>2</sub> (тонны на душу населения в год);

X<sub>1</sub> – средняя дневная температура (°C);

X<sub>2</sub> – статус столицы в ОЭСР (0; 1);

X<sub>3</sub> – доля возобновляемых источников в энергетическом балансе (от 0 до 100%);

X<sub>4</sub> – доля угля в энергетическом балансе (от 0 до 100%);

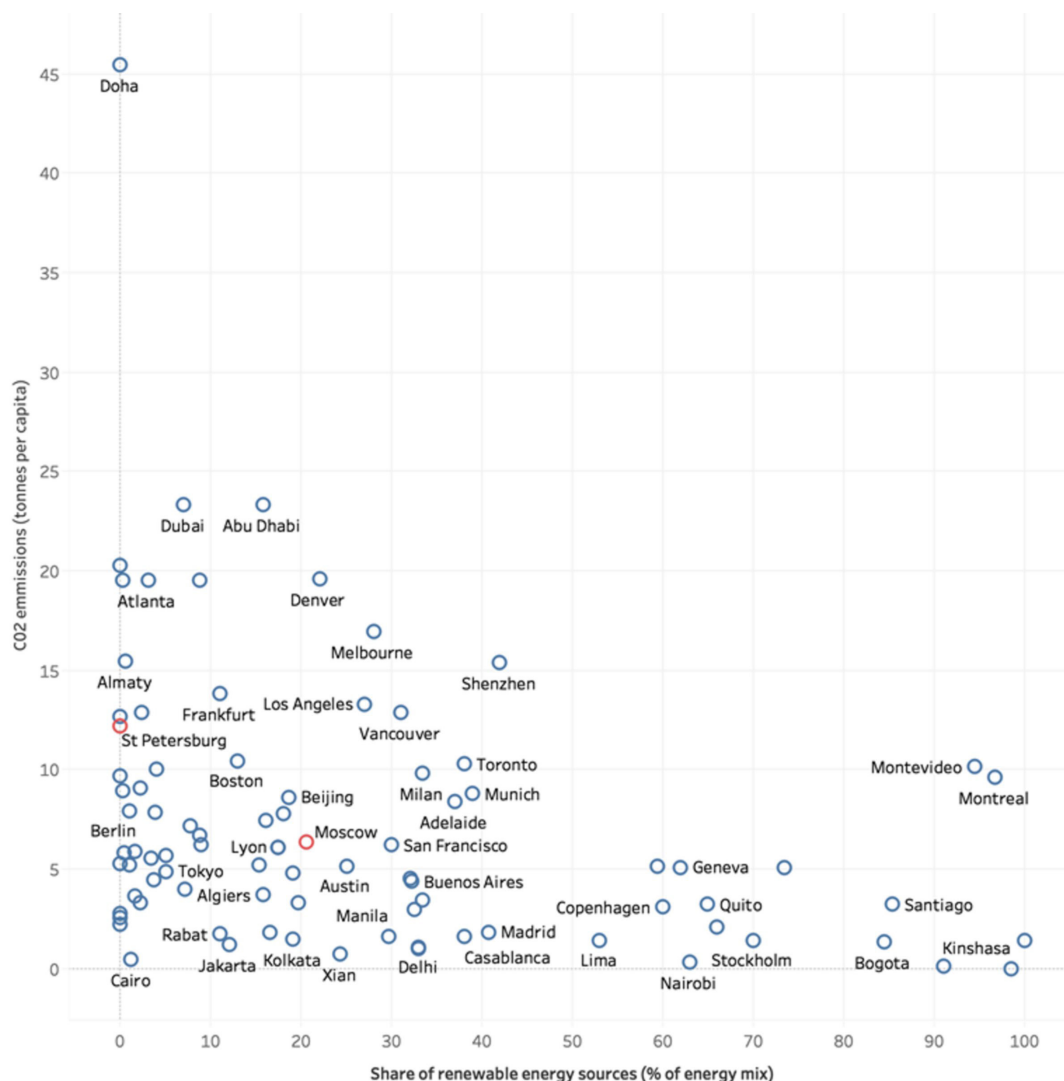
X<sub>5</sub> – доля перемещений пешком, на велосипеде или общественным транспортом среди всех перемещений по городу (от 0 до 100%);

X<sub>6</sub> – уровень реутилизации отходов (от 0 до 100%);

X<sub>7</sub> – налог на CO<sub>2</sub> (евро на тонну).

Численные оценки коэффициентов B<sub>0</sub>–B<sub>7</sub> этой модели, которая «объясняет» 80% вариации городских выбросов CO<sub>2</sub> в расчете на душу населения в глобальных городах мира, приведены в табл. 1.

Выбросы CO<sub>2</sub> в городах имеют тенденцию сокращаться при увеличении средней дневной температуры в городе. В среднем более высокие температуры приводят к меньшей необходимости отапливать помещения и, соответственно, к меньшим выбросам CO<sub>2</sub>. К сожалению, имеющиеся данные не позволяют учесть рост



**Рис. 5.** Корреляция между выбросами CO<sub>2</sub> в расчете на душу населения и долей возобновляемой энергии в энергетическом балансе глобальных городов. Российские города обозначены красным цветом, прочие – синим  
Источник: База данных устойчивых городов Environment Europe™, 2018.

потребления электроэнергии, связанной с кондиционированием воздуха. Один из полученных нами результатов привлекает особое внимание: города, являющиеся столицами стран ОЭСР (OECD), характеризуются значительно меньшими выбросами CO<sub>2</sub>. Мы предполагаем, что это происходит в результате более высокого технологического развития системы общественного транспорта, электрических автомобилей и появления пешеходных пространств, свободных от автомобилей, как нового тренда в городском планировании и дизайне. Согласно нашим результатам, с повышением доли возобновляемой энергии в энергетическом балансе связана тенденция к снижению городских выбросов CO<sub>2</sub>. С другой стороны, более высокая доля угля в энергетическом балансе увеличивает городские выбросы CO<sub>2</sub>. На сокращение выбросов CO<sub>2</sub> в городах влияет поведенческая переменная, представляющая долю перемещений на общественном транспорте, на велосипеде и пешком (табл. 1). Парадоксально, как показывают наши результаты, что более высокие уровни рециклирования при прочих равных условиях приводят к увеличению выбросов CO<sub>2</sub> на душу населения, поскольку для процесса рециклирования должны быть затрачены дополнительные объемы энергии. Мы также обнаружили, что налог на CO<sub>2</sub>, отражая существующую

структуру инструментов климатической политики на глобальном уровне, помогает сократить выбросы CO<sub>2</sub> в городах при статистической значимости на уровне 5%.

Одна из наиболее интересных переменных – статус столицы государства-члена ОЭСР. Из коэффициентов регрессионного уравнения видно, что такой статус сопровождается средним сокращением выбросов CO<sub>2</sub> на 2 тонны в расчете на человека в год. Как можно объяснить этот феномен? Одна из гипотез заключается в политическом лидерстве ОЭСР в глобальном движении пешеходизации<sup>28</sup>. В Швеции города Стокгольм, Лунд и Гетеборг сделали свои центры пешеходными к 1961 г. Копенгаген сделал центральную торговую улицу Strøget полностью пешеходной в 1962 г. [23].

Как отмечено в [7], в 1969 г. генеральным секретарем ОЭСР стал голландский политик Emile van Lenner, который дал новый стимул повышенному интересу к экологическим и городским проблемам. Привлекая внимание к проблемам современного общества, таким как экономический рост, окружающая среда и благосостояние, уже в 1969 г., ОЭСР сформировало новую

<sup>28</sup> Пешеходизация (pedestrianisation) – термин, обозначающий появление пешеходных пространств, свободных от автомобилей, пешеходных торговых улиц, пешеходных дорожек и всего, что способствует перемещению по городу пешком.

Табл. 1

### Численные оценки параметров линейной регрессионной модели выбросов CO<sub>2</sub> в глобальных городах\*

Переменная	Коэффициент	Оценка коэффициента	Стандартная ошибка оценки	t-статистика	p-уровень статистической значимости отличия оценки от 0	Частный коэффициент детерминации (R <sup>2</sup> )
	B <sub>0</sub> **	15,2640	1,023	14,9	0,0000	0,7794
Средняя дневная температура	B <sub>1</sub>	-0,234784	0,04427	-5,30	0,0000	0,3087
Статус столицы в ОЭСР	B <sub>2</sub>	-2,29855	0,6474	-3,55	0,0007	0,1667
Доля возобновляемой энергии в энергетическом балансе	B <sub>3</sub>	-0,0376761	0,01115	-3,38	0,0013	0,1534
Доля угля в энергетическом балансе	B <sub>4</sub>	0,0486420	0,009920	4,90	0,0000	0,2762
Доля перемещений пешком, на велосипеде, общественным транспортом	B <sub>5</sub>	-0,113082	0,01036	-10,9	0,0000	0,6543
Уровень рециклирования	B <sub>6</sub>	0,0692216	0,01286	5,38	0,0000	0,3150
Налог на CO <sub>2</sub>	B <sub>7</sub>	-0,0306765	0,01428	-2,15	0,0355	0,0683

\* Источник данных: База данных устойчивых городов Environment Europe™, 2018, 71 наблюдение, R<sup>2</sup> = 0,805394.

\*\* Свободный член (константа) уравнения регрессии (1).

Группу по городской среде в рамках своей Экологической комиссии, что совпало с открытием Министерств окружающей среды в Великобритании (1970) и Франции (1971). Группа по городской среде ОЭСР успешно осуществила следующие проекты: «Пространства городов, свободные от автомобилей» (1970–1972), «Инструменты, воздействующие на форму и структуру городского развития» (1972–1974), «Сокращение шума в городах» (1973–1975), «Недорогие улучшения городской среды» (1973–1975), «Управление общественной землей» (1975–1977) и «Транспортная политика для улучшения городской среды» (1975–1976). Активная историческая роль ОЭСР в продвижении пешеходизации в городских пространствах позволяет нам уверенно заключить, что этот фактор сыграл роль в значительном сокращении выбросов CO<sub>2</sub> в столицах ОЭСР.

Еще одним фактором, который оказал влияние на поворот стратегий городов в направлении устойчивого развития, является, по нашему мнению, группа C40<sup>29</sup>, включающая сегодня более 80 ведущих городов мира. Организация была основана мэром Лондона (столица страны, входящей в ОЭСР). В совет C40 в настоящее время входит большое число столиц стран ОЭСР. Эта группа с момента основания в 2006 г. ведет активную работу по сокращению выбросов CO<sub>2</sub> в городах. Интересно отметить, что, как показывают наши результаты (табл. 1), эффект пешеходизации и использования велосипедов и общественного транспорта по абсолютной величине превосходит эффекты уменьшения доли угля, увеличения доли возобновляемой энергии и налога на углерод вместе взятые. В следующем разделе мы рассмотрим, какие города достигли большего успеха в устойчивом развитии, а в каких требуются дополнительные усилия. Следует отметить и современную тенденцию использования новейших умных технологий для решения вопросов улучшения качества окружающей среды городов, увеличения их потенциала в достижении целей устойчивого развития и повышения качества жизни, как это происходит в Лондоне и Сингапуре, например<sup>30,31,32</sup>.

<sup>29</sup> C40 – партнерство больших городов по проблемам изменения климата. Создано в 2006 г. по инициативе мэра Лондона Кена Ливингстона. Из российских городов членом партнерства является Москва. В качестве задач партнерство рассматривает содействие городам в реализации программ снижения выбросов парниковых газов, сокращения потребления энергии, внедрение энергосберегающих технологий, развитие возобновляемых источников энергии.

<sup>30</sup> Greater London Authority. Smart London Plan: using the creative power of new technologies to serve London and improve Londoners' lives. 2013: [https://www.london.gov.uk/sites/default/files/smart\\_london\\_plan.pdf](https://www.london.gov.uk/sites/default/files/smart_london_plan.pdf).

<sup>31</sup> Greater London Authority. The Future of Smart: Harnessing digital innovation to make London the best city in the world 2016: [https://www.london.gov.uk/sites/default/files/gla\\_smartlondon\\_report\\_web\\_4.pdf](https://www.london.gov.uk/sites/default/files/gla_smartlondon_report_web_4.pdf).

<sup>32</sup> Singapore. A Lively and Liveable Singapore: Strategies for Sustainable Growth. 2009; <http://www2.ecolex.org/server2neu.php/libcat/docs/LI/MON-083603.pdf>.

## Оценка устойчивости: линейное агрегирование

В рамках многомерной оценки мы рассчитали общий индекс устойчивости для глобальных городов путем линейного агрегирования с различными весами, представляющими различные приоритеты в области достижения целей устойчивого развития. По выбранным 20 индикаторам устойчивости в нашей базе данных нашлись сведения по 57 городам. Это множество городов включает наиболее важные глобальные города, представляющие Европу, Африку, Азию, Северную и Южную Америку, Австралию и Океанию. Рассматриваемые города охватывают 6,7% населения Европы, 3,2% населения Азии, 5,4% населения Северной Америки, 10,5% населения Южной Америки, 26,1% населения Австралии и Океании и 0,7% населения Африки, что говорит о некотором дисбалансе, который мы планируем откорректировать в будущем, увеличив долю городов Азии и Африки в базе данных. Города в базе Environment Europe™ включают оба города категории A++<sup>33</sup>, Лондон и Нью-Йорк, большую часть городов A+, включая Сингапур, Шанхай, Токио, Гонконг, Пекин, Париж, и наиболее значимые города A-, B+, B и B- из различных регионов<sup>34</sup>.

Линейное агрегирование подразумевает абсолютную взаимозаменяемость между критериями устойчивости. Нами были исследованы несколько приоритетов городского управления, при этом мы, изменяя весовые коэффициенты, фокусировали внимание на экономических, социальных, экологических или «умных» размерностях. Результаты оценки 57 глобальных городов показаны в табл. 2.

Результаты оценки ясно показывают, что при выборе экологических приоритетов самые устойчивые города – это Сан-Франциско, Стокгольм, Сеул, Копенгаген и Цюрих; при выборе «умных» приоритетов ведущие города – Стокгольм, Сан-Франциско, Париж, Токио и Бостон. При выборе экологических и экономических приоритетов лидирует Сан-Франциско, при выборе социальных и «умных» приоритетов – Стокгольм. Город может занимать разные позиции в рейтинге в зависимости от выбранных приоритетов. Например, Сеул занимает третье место в мире при выборе экологических приоритетов, второе при выборе экономических, пятое – социальных и восьмое – при выборе «умных», что является очень сильной позицией, привлекающей внимание к инновационному опыту Сеула. Столица Дании Копенгаген, как видно из табл. 2, занимает четвертую строчку при экологическом

<sup>33</sup> A++, A+ и т. д. (Alfa++, Alfa+) – категории городов в глобальном рейтинге городов, представленных в Globalization and world cities research network. The World According to GaWC 2018. 2018: <https://www.lboro.ac.uk/gawc/world2018t.html>.

<sup>34</sup> Globalization and world cities research network. The World According to GaWC 2018. 2018: <https://www.lboro.ac.uk/gawc/world2018t.html>.

**Многомерная оценка устойчивости глобальных городов  
при экологических, экономических, социальных и умных приоритетах, линейное агрегирование**

Место	Равные приоритеты		Экологические приоритеты		Экономические приоритеты		Социальные приоритеты		«Умные» приоритеты	
	Город		Город		Город		Город		Город	
1	Сан-Франциско	0,73	Сан-Франциско	0,75	Сан-Франциско	0,71	Стокгольм	0,80	Стокгольм	0,73
2	Стокгольм	0,72	Стокгольм	0,73	Токио	0,70	Копенгаген	0,74	Сан-Франциско	0,66
3	Сеул	0,68	Сеул	0,69	Сеул	0,70	Цюрих	0,73	Париж	0,62
4	Токио	0,67	Копенгаген	0,68	Стокгольм	0,68	Мюнхен	0,72	Токио	0,61
5	Копенгаген	0,66	Цюрих	0,67	Вашингтон	0,63	Сеул	0,71	Бостон	0,60
6	Цюрих	0,65	Токио	0,66	Цюрих	0,62	Сан-Франциско	0,71	Франкфурт	0,59
7	Мюнхен	0,65	Мюнхен	0,66	Париж	0,62	Мадрид	0,71	Копенгаген	0,59
8	Франкфурт	0,62	Монреаль	0,64	Мюнхен	0,62	Токио	0,70	Сеул	0,58
9	Мадрид	0,62	Мадрид	0,64	Нью-Йорк	0,62	Ванкувер	0,69	Тайпей	0,57
10	Париж	0,61	Франкфурт	0,62	Бостон	0,61	Торонто	0,68	Мюнхен	0,57
11	Монреаль	0,61	Амстердам	0,62	Копенгаген	0,61	Амстердам	0,68	Вашингтон	0,55
12	Ванкувер	0,60	Торонто	0,62	Тайпей	0,60	Барселона	0,68	Барселона	0,54
13	Сингапур	0,60	Сингапур	0,61	Франкфурт	0,60	Франкфурт	0,67	Сингапур	0,53
14	Торонто	0,60	Ванкувер	0,61	Сингапур	0,60	Эдинбург	0,67	Цюрих	0,53
15	Амстердам	0,60	Париж	0,61	Пекин	0,60	Вена	0,66	Мадрид	0,53
16	Бостон	0,60	Аделаида	0,60	Остин	0,59	Монреаль	0,66	Ванкувер	0,51
17	Тайпей	0,59	Эдинбург	0,60	Ванкувер	0,58	Тайпей	0,66	Шэньчжэнь	0,50
18	Вена	0,58	Вена	0,60	Портленд	0,58	Берлин	0,63	Амстердам	0,50
19	Барселона	0,58	Милан	0,60	Торонто	0,58	Варшава	0,63	Остин	0,48
20	Милан	0,58	Барселона	0,59	Денвер	0,57	Сидней	0,62	Вена	0,48
21	Вашингтон	0,58	Тайпей	0,59	Мадрид	0,56	Лондон	0,62	Нью-Йорк	0,48
22	Сидней	0,57	Сидней	0,59	Монреаль	0,56	Милан	0,62	Милан	0,47
23	Эдинбург	0,57	Берлин	0,59	Милан	0,56	Париж	0,61	Берлин	0,46
24	Аделаида	0,57	Бостон	0,59	Амстердам	0,55	Шанхай	0,60	Сидней	0,46
25	Нью-Йорк	0,57	Лондон	0,58	Вена	0,55	Бостон	0,60	Гонконг	0,46
26	Берлин	0,57	Портленд	0,58	Атланта	0,55	Аделаида	0,59	Портленд	0,45
27	Портленд	0,57	Рим	0,57	Лондон	0,55	Остин	0,59	Монреаль	0,45

28	Лондон	0,56	Варшава	0,57	Сидней	0,55	Рим	0,59	Торонто	0,45
29	Остин	0,56	Вашингтон	0,57	Шэньчжэнь	0,55	Вашингтон	0,58	Атланта	0,45
30	Варшава	0,55	Нью-Йорк	0,57	Лос-Анджелес	0,54	Портленд	0,57	Лондон	0,43
31	Пекин	0,55	Остин	0,55	Барселона	0,54	Шэньчжэнь	0,57	Лос-Анджелес	0,41
32	Шэньчжэнь	0,55	Шэньчжэнь	0,55	Мельбурн	0,54	Сингапур	0,57	Пекин	0,40
33	Рим	0,54	Пекин	0,54	Аделаида	0,53	Нью-Йорк	0,56	Денвер	0,40
34	Денвер	0,53	Денвер	0,53	Эдинбург	0,53	Мельбурн	0,56	Варшава	0,39
35	Лос-Анджелес	0,52	Лос-Анджелес	0,53	Берлин	0,53	Денвер	0,55	Эдинбург	0,39
36	Гонконг	0,51	Сан-Паулу	0,53	Варшава	0,52	Пекин	0,53	Шанхай	0,38
37	Шанхай	0,50	Богота	0,53	Гонконг	0,51	Атланта	0,53	Рим	0,38
38	Атланта	0,50	Гонконг	0,52	Рим	0,51	Лос-Анджелес	0,52	Майами	0,38
39	Мельбурн	0,49	Кито	0,50	Шанхай	0,50	Москва	0,50	Аделаида	0,37
40	Сан-Паулу	0,49	Шанхай	0,50	Майами	0,49	Санкт-Петербург	0,50	Мельбурн	0,37
41	Богота	0,48	Лима	0,49	Сан-Паулу	0,45	Гонконг	0,49	Москва	0,35
42	Кито	0,46	Мельбурн	0,49	Москва	0,44	Алматы	0,46	Санкт-Петербург	0,32
43	Лима	0,46	Кампала	0,48	Лима	0,44	Майами	0,45	Сан-Паулу	0,32
44	Москва	0,46	Москва	0,48	Сантьяго	0,43	Сан-Паулу	0,44	Мехико-Сити	0,30
45	Майами	0,44	Атланта	0,48	Мехико-Сити	0,43	Лима	0,44	Сантьяго	0,30
46	Мехико-Сити	0,43	Санкт-Петербург	0,46	Богота	0,43	Сантьяго	0,44	Лима	0,28
47	Санкт-Петербург	0,43	Рио-де-Жанейро	0,45	Кито	0,42	Стамбул	0,42	Богота	0,28
48	Кампала	0,43	Мехико-Сити	0,45	Рио-де-Жанейро	0,40	Мехико-Сити	0,41	Стамбул	0,27
49	Сантьяго	0,43	Стамбул	0,45	Алматы	0,39	Богота	0,41	Алматы	0,27
50	Рио-де-Жанейро	0,42	Сантьяго	0,44	Стамбул	0,38	Кито	0,40	Рио-де-Жанейро	0,27
51	Стамбул	0,42	Майами	0,43	Санкт-Петербург	0,38	Буэнос-Айрес	0,38	Кито	0,27
52	Мумбай	0,39	Мумбай	0,42	Мумбай	0,37	Кампала	0,38	Буэнос-Айрес	0,26
53	Буэнос-Айрес	0,39	Найроби	0,42	Буэнос-Айрес	0,37	Рио-де-Жанейро	0,38	Кампала	0,24
54	Алматы	0,38	Буэнос-Айрес	0,41	Кампала	0,36	Дели	0,32	Мумбай	0,23
55	Дели	0,38	Дели	0,40	Дели	0,36	Мумбай	0,31	Дели	0,22
56	Найроби	0,34	Алматы	0,38	Йоханнесбург	0,28	Найроби	0,23	Найроби	0,18
57	Йоханнесбург	0,29	Йоханнесбург	0,32	Найроби	0,23	Йоханнесбург	0,17	Йоханнесбург	0,16

гических приоритетах, одиннадцатую – при экономических приоритетах, вторую – при социальных и седьмую при «умных» приоритетах. Столица Великобритании Лондон, несмотря на значительные усилия по реализации стратегий устойчивого и умного развития города, все еще находится на двадцать пятой позиции при экологических приоритетах, двадцать шестой – при экономических, двадцать первой позиции – при социальных и тридцатой – при «умных» приоритетах. В то же время Вашингтон занимает двадцать девятую строчку при экологических приоритетах, восьмую – при экономических, двадцать девятую – при социальных и одиннадцатую – при «умных» приоритетах. Таким образом, мы видим, что среди лучших городов находятся глобальные города и некоторые столичные города, занимающие высокие позиции в рейтинге.

В то же время наихудшие показатели устойчивости при экологических приоритетах в нашем исследовании демонстрируют такие города, как Йоханнесбург, Алматы, Дели, Буэнос-Айрес и Найроби. При экономических приоритетах список замыкают Найроби, Буэнос-Айрес, Йоханнесбург, Дели и Кампала, при социальных – Йоханнесбург, Найроби, Мумбай, Дели и Рио-де-Жанейро, а при «умных» приоритетах – Йоханнесбург, Найроби, Дели, Мумбай и Кампала.

Из российских городов в нашей оценке фигурируют два города – Москва и Санкт-Петербург. Их позиции в нашем рейтинге оказались следующими: из 57 оцененных глобальных городов при экологических приоритетах Москва находится на 44-м месте, а Санкт-Петербург — на 46-м, при экономических приоритетах Москва занимает более высокое 42-е место, чем Санкт-Петербург, занимающий 51-е место. Позиции при социальных приоритетах примерно равные: Москва и Санкт-Петербург занимают 39-е и 40-е места соответственно. А при «умных» приоритетах наши города также пока находятся не на очень высоких позициях, занимая 41-е (Москва) и 42-е места (Санкт-Петербург) соответственно. Москва при этом прилагает усилия для нахождения баланса между различными приоритетами развития, включившись в сбор данных по ключевым показателям деятельности «умных» и устойчивых городов для оценки достижения целей в области устойчивого развития<sup>35</sup>.

### **Лидеры устойчивого развития среди глобальных городов**

Ниже мы рассмотрим три наиболее устойчивых и «умных» города в мире и постараемся объяснить, как они достигли своего впечатляющего успеха. Согласно результатам нашего исследования, среди наиболее

<sup>35</sup> Применение международных стандартов МСЭТ к «умным и устойчивым городам» T-TUT-SSCIOT-2018-PDF-R.pdf.

успешных городов мы находим Сан-Франциско – высокотехнологичный центр США, а также две национальные столицы: Стокгольм и Сеул. На рис. 6 представлено многомерное сравнение этих городов.

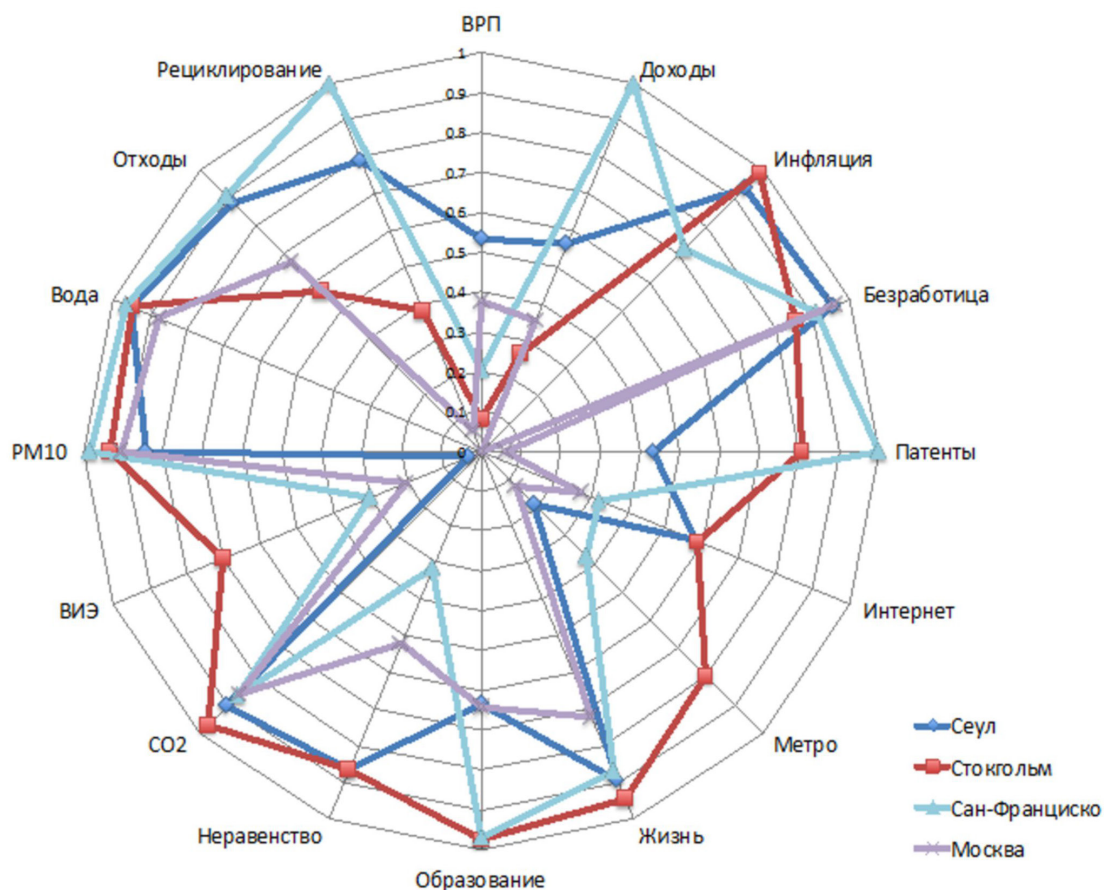
### **Сан-Франциско**

Глобальный город Сан-Франциско, не являясь столицей, лидирует в нашем рейтинге среди других городов мира экономической и экологической размерности. Стратегический план Сан-Франциско<sup>36</sup> на 2016–2020 гг. определяет миссию города следующим образом: «обеспечить решения, которые увеличивают защиту от изменений климата и повышают качество жизни для всех жителей Сан-Франциско». Стратегический план имеет пять целей: 1) продвижение здоровых сообществ и экосистем; 2) лидерство по действиям в области предотвращения изменений климата; 3) усиление стрессоустойчивости сообществ; 4) сокращение отходов; 5) активизация действий и влияния местных сообществ в решении городских проблем.

В рамках второй цели по действиям в области предотвращения изменений климата ставится задача сократить до 2025 г. выбросы парниковых газов на 40%. Данная цель имеет следующие подцели: максимизация энергоэффективности в существующих зданиях; сокращение зависимости от использования автомобилей с одним пассажиром путем улучшения доступа к «зеленым» (экологически чистым, не загрязняющим городскую среду, использующим альтернативные виды топлива, удобным и комфортным внутри, с удобной системой оплаты) и доступным видам транспорта; обязательство сократить выбросы углекислого газа в административных зданиях города; продолжение распространения практик Сан-Франциско для демонстрации возможных изменений всему миру; декарбонизация энергии, используемой для отопления и охлаждения зданий; ускорение перехода на электричество, на 100% обеспечиваемое возобновляемыми источниками, к 2030 г.; максимизация местного производства возобновляемой энергии посредством новых управленческих решений и инвестиций; декарбонизация транспортного сектора путем перехода на электрические автомобили и автомобили с нулевыми выбросами.

Город Сан-Франциско является одним из мировых лидеров по рециклированию (80%) и лидером по экономии ресурсов благодаря очень небольшим объемам твердых муниципальных отходов на душу населения (195,4 кг в год). Сан-Франциско имеет достаточно разветвленную систему общественного транспорта: 49% всех перемещений, совершаемых горожанами, осуществляются на общественном транспорте, на ве-

<sup>36</sup> San Francisco Department of the Environment. San Francisco Climate Action Strategy.2013: [https://sfenvironment.org/sites/default/files/engagement\\_files/sfe\\_cc\\_ClimateActionStrategyUpdate2013.pdf](https://sfenvironment.org/sites/default/files/engagement_files/sfe_cc_ClimateActionStrategyUpdate2013.pdf).



**Рис. 6.** Сравнение наиболее успешных глобальных городов – Сан-Франциско, Стокгольма и Сеула – с Москвой. Большее расстояние от центра означает лучшие показатели по каждому из индикаторов

лосипеде или пешком. Сан-Франциско производит 6,2 т CO<sub>2</sub> на человека в год, вырабатывая 30% своей энергии из возобновляемых источников. В области качества воздуха Сан-Франциско демонстрирует низкие уровни загрязнения микрочастицами до 10 мкм (PM10) на уровне 15,77 мкг/м<sup>3</sup>, что ниже лимита Всемирной организации здравоохранения по этому показателю (20 мкг/м<sup>3</sup>).

Экономически Сан-Франциско является одним из наиболее успешных городов мира. При высоком подушевом доходе в 88,518 USD по паритету покупательской способности в ценах 2010 г. инфляция низка (3,8%), безработица невысока (4,4%) – примерно треть от аналогичного показателя в соседнем Лос-Анджелесе. Сан-Франциско является мировым инновационным центром, где на 1000 жителей регистрируется в среднем 3,24 патента в год, что выше аналогичного показателя в Бостоне. В то же время расслоение доходов в Сан-Франциско высоко, что иллюстрируется индексом Джини (0,51). Такой высокий показатель по этому индексу ограничивает достижения Сан-Франциско в социальной сфере, помещая город на 6-ю позицию в рейтинге по социальным приоритетам.

## СТОКГОЛЬМ

Столица Швеции Стокгольм выиграла престижный приз «Европейская зеленая столица» в 2010 г.<sup>37</sup> Город принял Экологическую программу на 2016–2019 гг., основанную на взаимодополняемости между охраной окружающей среды и человеческими потребностями. Шесть приоритетных отраслей этой программы включают в себя: устойчивое использование энергии, экологически чистый транспорт, устойчивое использование земли и воды, ресурсо-эффективное рециклирование, нетоксичный Стокгольм и здоровая среда внутри дома. Наше исследование показывает, что вместе с серьезным отношением к окружающей среде Стокгольм демонстрирует серьезные результаты в экономической сфере. Швеция имеет открытую экономику и превосходит США, Японию и Бразилию, привлекая примерно 4,7% ВВП в форме прямых зарубежных инвестиций в год. Швеция в целом получает высокие рейтинги в Глобальном индексе конкурентоспособности Всемирного экономического форума.

<sup>37</sup> Stockholm. The Stockholm Environment Program 2012-2015. 2012; <https://international.stockholm.se/globalassets/ovriga-bilder-och-filer/the-stockholm-environment-programme-2012-2015.pdf>



В то же время Швеция вкладывает около 3,7% ВВП в исследования и разработки, что значительно выше 1,8% в среднем по Европе. Стокгольму, как и Швеции в целом, удалось отделить экономическое развитие от роста выбросов CO<sub>2</sub> в результате технологической модернизации в 1970-х гг. за счет интенсивного использования гидроэнергии и атомной энергии, а также успешного применения экологических налогов с 1991 г., как показано в исследовании Шмелева и Шпека в 2018 г. [32]. Стокгольм поставил перед собой цель перестать использовать ископаемые виды топлива к 2050 г. и активно развивает новые программы «зеленого» городского транспорта.

Экономика Стокгольма основана на инновациях: ежегодное число новых зарегистрированных патентов (2,62 на 1000 жителей) превышает аналогичные показатели во всех других Европейских центрах, включая такие технологические гиганты, как Мюнхен, Цюрих, Копенгаген, а также Токио. В то же время Стокгольм отличается очень низкой инфляцией, фактически дефляцией на уровне 0,04%, при этом в городе высокий уровень налогообложения в процентах к ВВП и относительно низкий индекс Джини (0,3). В Стокгольме высок уровень высшего образования: 58% жителей в возрасте 25–64 лет.

В экологической размерности Стокгольм характеризуется очень низкими выбросами CO<sub>2</sub> (1,44 тонны в расчете на человека в год). Одной из причин этого является активное использование возобновляемой энергии: Стокгольм занимает одну из лидирующих позиций в Европе по ее доле (70%), следуя за Цюрихом. Позиция Стокгольма по возобновляемой энергии значительно лучше, чем у других Европейских городов – Копенгагена, Эдинбурга, Мадрида, Рима, Москвы, Вены, Парижа, Лондона, Амстердама.

Стокгольм характеризуется высокодиверсифицированной системой подземных сетей со 108 станциями метро на 100000 жителей. Такая доступность общественного транспорта лучше, чем во многих европейских городах, таких как Мадрид, Амстердам, Лондон, Рим, Берлин, но хуже, чем в Париже. С другой стороны, по доле перемещений, совершаемых на общественном транспорте, на велосипеде и пешком (53% общего числа перемещений), Стокгольм не является полноценным лидером, уступая Вене, Мадриду, Москве, Амстердаму и Лондону.

Качество воздуха в Стокгольме находится на хорошем европейском уровне со средней годовой концентрацией микрочастиц PM<sub>10</sub> в 26 мкг/м<sup>3</sup>, что, тем не менее, выше, чем максимум, рекомендованный Всемирной организацией здравоохранения (20 мкг/м<sup>3</sup>). Качество воздуха лучше в таких европейских городах, как Эдинбург, Мадрид, Цюрих, Амстердам и Вена, хуже – в Лондоне и Париже. Что касается экономики замкнутого цикла, Стокгольм вырабатывает

довольно большое количество твердых муниципальных отходов, в среднем 597 кг/чел. в год, 31% из которых рециклируется. В таких европейских городах, как Мадрид, Амстердам, Берлин, Лондон, Париж, Вена, стиль жизни менее ресурсоемкий. Уровень рециклирования ниже, чем в Стокгольме, в Мадриде, Риме, Париже, Копенгагене, а выше – в Вене, Лондоне, Берлине и Амстердаме.

## Сеул

В ноябре 2017 г. Правительство метрополии Сеула приняло 17 Целей устойчивого развития и поставило 96 задач их выполнения. План Сеула до 2030 г. – документ городского планирования – охватывает три основные размерности – окружающую среду, общество и культуру, экономику – и включает 30 индикаторов городского развития<sup>38</sup>. Среди стратегических приоритетов Сеула – сокращение зависимости от атомной энергии, увеличение энергоэффективности и расширение участия женщин в экономической деятельности. Достижения Сеула в области умного развития были отмечены в отчете Международного телекоммуникационного союза уже в 2013 г. Программа умного города в Сеуле включает развитие быстрых оптических волоконных и беспроводных сетей. С 2003 г. в Сеуле была внедрена сеть «u-Seoul», которая связала основные общественные здания, офисы и муниципалитеты через волоконно-оптические кабели в подземных тоннелях. В 2015 г. 30% государственных служащих пользовались услугами «центра умной сети» и могли работать из дома. Была внедрена модель открытого управления Сеула, через которую горожане могут оставить заявку и поднять вопрос о проблемах в их районе или сообществе. В 2012 г. проект Сеула по умному замеру использования электроэнергии охватил 1000 семей, которым были предоставлены смарт-счетчики. В проекте была поставлена цель – сократить потребление электроэнергии на 10%. Система открытых данных включает информацию по муниципальному управлению, благосостоянию, культуре и туризму, управлению городом, окружающей среде, здоровью, промышленности, экономике и транспорту. Умные решения используются в Сеуле для оптимизации личных поездок горожан, помогая выбрать устойчивые транспортные решения и сокращая выбросы углерода.

В Сеуле в 2013 г. сконцентрировалось 50% всей экономики Кореи, обеспечивая занятость 50% населения страны. Уровень безработицы в Сеуле в 2014 г. был 2,3% – на уровне региональных лидеров Пекина и Сингапура, но ниже, чем в Токио. В Сеуле значительна доля жителей с высшим образованием (40,6%), что немного ниже, чем в Сингапуре, но выше, чем в

<sup>38</sup> Seoul Solution <https://www.seoulsolution.kr/en>.

региональных центрах – Пекине, Гонконге, Шанхае, Шэньчжэне, и выше, чем в европейских столицах – Берлине, Вене и Риме. Довольно низкое значение индекса Джини (0,3) подчеркивает ценность равенства в корейском обществе; индекс значительно ниже, чем в Сингапуре, Пекине и Гонконге. Инфляция в Сеуле находится на низком уровне 0,71%, что сопоставимо только с Копенгагеном и Стокгольмом. В Сеуле регистрируются около 1,4 патента на 1000 жителей в год, что является хорошим показателем.

В экологической сфере выбросы CO<sub>2</sub>, измеряемые в Сеуле ежегодно, составляют 4,5 тонны, что ниже, чем в Токио, Гонконге, Сингапуре, Пекине, Шанхае и Шэньчжэне. В сравнении с европейскими городами по выбросам диоксида углерода Сеул следует за Стокгольмом и Копенгагеном, но оказывается лучше Парижа, Амстердама, Берлина, Лондона, Вены и Мюнхена, также обходя Сан-Франциско, Нью-Йорк, Монреаль, Бостон, Вашингтон и Лос-Анджелес.

Рециклирование – определенно одна из сильных сторон Сеула: 63,5% собранных твердых муниципальных отходов рециклируется. Зеленых пространств в Сеуле не так много – 1,39 м<sup>2</sup> на человека, что меньше, чем в Токио, Пекине, Шанхае, Барселоне, Лондоне, Париже, Стокгольме, Берлине, Риме и Копенгагене.

### Заключение

В данной статье нами были рассмотрены глобальные города – центры экономической активности, которые ответственны за значительную долю глобальных выбросов CO<sub>2</sub> и вырабатывают большие объемы отходов. Мы предложили ряд индикаторов, которые можно использовать для измерения устойчивости развития умных глобальных городов.

Применение регрессионного анализа позволило нам построить хорошую модель выбросов CO<sub>2</sub> для глобальных городов. Мы показали, что ключевыми фак-

торами, от которых зависят выбросы CO<sub>2</sub>, являются статус столицы страны-члена ОЭСР; доля угля в энергетическом балансе; доля возобновляемых источников; доля перемещений на общественном транспорте, на велосипеде и пешком; средняя годовая температура; уровень рециклирования и налог на CO<sub>2</sub>. Все эти факторы в совокупности объясняют 80% вариации выбросов CO<sub>2</sub> в городах по всему миру. Многомерная оценка позволила выявить три глобальных города, являющихся явными лидерами по параметрам устойчивого развития: это Сан-Франциско, Стокгольм и Сеул. Полученные нами результаты позволили представить показатели отдельных городов в глобальном контексте и системно.

Стало очевидно, что среди наиболее устойчивых глобальных городов мира присутствуют города разного типа: национальные политические столицы – Стокгольм, Сеул, Копенгаген, Токио, Мадрид, Сингапур, Амстердам, Париж, Вена; финансовые центры – Цюрих, Франкфурт, Торонто; инновационные центры – Сан-Франциско, Мюнхен, Ванкувер; региональные центры – Монреаль, Барселона, Эдинбург. Статус столицы страны-члена ОЭСР сыграл значительную роль в объяснении выбросов CO<sub>2</sub> как одного из ключевых индикаторов устойчивости.

В целом, наше исследование показало, что столичные города ОЭСР, инновационные, финансовые и региональные центры часто показывают хорошие показатели устойчивости. Вместе с тем города должны активно взаимодействовать, делать больше для продвижения политики устойчивого развития и перенимать передовую практику. Это особенно актуально для городов, находящихся на низких ступенях нашего рейтинга. Дальнейшая разработка городских индикаторов устойчивости позволит нам лучше измерять их достижения и выявлять лучший практический опыт, который может быть передан другим городам.

### Литература

#### Список русскоязычной литературы

1. Шмелева ИА, Шмелев СЭ. Методологические проблемы междисциплинарного исследования устойчивого развития крупных городов. Биосфера. 2010;2:112-25.

#### Общий список литературы/References.

1. Shmeleva IA, Shmelev SE. [Methodological problems in interdisciplinary studies of sustainable development of major cities]. Biosfera. 2010;2:112-25. (In Russ.)
2. Ahvenniemi H, Huovila A, Pinto-Seppä I, Airaksinen M. What are the differences between sustainable and smart cities? Cities. 2017; 60(1):234-45.
3. Bai X, Dawson RJ, Ürge-Vorsatz D, Delgado GC, Salisu Barau A, Dhakal S, Dodman D, Leonardsen L, Masson-Delmotte V, Roberts D, Schultz S. Six research priorities for cities and climate change. Nature. 2018; 555:23-5.
4. Bithas KP, Christofakis M. Environmentally sustainable cities. Critical review and operational conditions. Sustainable Development. 2006;14:177-89.

5. Dassen T, Kunseler E, van Kessenich LM. The sustainable city: an analytical-deliberative approach to assess policy in the context of sustainable urban development. *Sustainable Development*. 2013;21:193-205.
6. Elliott D. *Renewables: A Review of Sustainable Energy Supply Options*. Bristol: IOP Publishing. 2013.
7. Ferial C. Better (urban) policies for better lives. The role of OECD in transnational exchanges of planning ideas in the 1970. *International Planning History Society Proceedings*, June 2016 [S.l.] 2016;17(6):195-204.
8. García-Fuentes MÁ, Quijano A, De Torre C, García R, Compere P, Degard C, Tomé I. European cities characterization as basis towards the replication of a smart and sustainable urban regeneration model. *Energy Procedia*. 2017;111(1):836-45.
9. Girardet H. *Cities People Planet: Liveable Cities for a Sustainable World*. New York: John Wiley & Sons; 2004.
10. Girardet H. *Creating Regenerative Cities*. London: Routledge; 2014.
11. Girardi P, Temporelli A. Smartainability: a methodology for assessing the sustainability of the smart city. *Energy Procedia*. 2017;111(1):810-6.
12. Hall P, Buijs S, Tan W, Tunas D. *Megacities. Exploring a Sustainable Future*, Rotterdam: nai010 Publishers; 2010.
13. Hall P. *Good Cities, Better Lives: How Europe Discovered the Lost Art of Urbanism (Planning, History and Environment Series)*. London: Routledge; 2014.
14. Hall P, Pfeiffer U. *Urban Future 21: A Global Agenda for Twenty-First Century Cities*, London: Routledge; 2000.
15. Hara M, Nagao T, Hanno S, Nakamura J. New key performance indicators for a smart sustainable city. *Sustainability*. 2016;8(3):206; <https://doi.org/10.3390/su8030206>.
16. Kierstead J, Leach M. Bridging the gaps between theory and practice: a service niche approach to urban sustainability indicators. *Sustainable Development*. 2008;16:329-40.
17. Klopp JM, Petretta DL. The urban sustainable development goal: Indicators, complexity and the politics of measuring cities. *Cities*. 2017;63(1):92-7.
18. Manitiu DN, Pedrini G. Urban smartness and sustainability in Europe. An ex ante assessment of environmental, social and cultural domains. *Eur Planning Stud*. 2016;24(10):1766-87.
19. Martin N, Rice J. Sustainable development pathways: determining socially constructed visions for cities. *Sustainable Development*. 2014;22:391-403.
20. Monfaredzadeh T, Berardi U. Beneath the smart city: Dichotomy between sustainability and competitiveness. *Int J Sustainable Building Technol Urban Develop*. 2015; 6(3):140-56.
21. Mori K, Yamashita T. Methodological framework of sustainability assessment in City Sustainability Index (CSI): A concept of constraint and maximization indicators. *Habitat Internat*. 2015;45:10-4.
22. Naess P. Central dimensions in a sustainable urban development. *Sustainable Development*. 1995;3:120-9.
23. Parajuli A, Pojani D. Barriers to the pedestrianization of city centres: perspectives from the Global North and the Global South. *J Urban Design*. 2018;23(1):142-60.
24. Pierce P, Ricciardi F, Zardini A. Smart cities as organizational fields: A framework for mapping sustainability-enabling configurations. *Sustainability*. 2017;9(9):1506; <https://doi.org/10.3390/su9091506>.
25. Roy B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers; 1996.
26. Sassen S. The Global City: Introducing a concept. *Brown J World Affairs*. 2005;11(2):27-43.
27. Shen LY, Ochoa JJ, Shah MN, Zhang X. The application of urban sustainability indicators: A comparison between various practices. *Habitat Internat*. 2011;35:17-29.
28. Shen L, Zhou J. Examining the effectiveness of indicators for guiding sustainable urbanization in China. *Habitat Internat*. 2014;44:111-20.
29. Shmelev SE. Multidimensional sustainability assessment for megacities. In: Shmelev S., ed. *Green Economy Reader. Lectures in Ecological Economics and Sustainability*. Switzerland: Springer; 2017. P. 205-36.
30. Shmelev SE, Shmeleva IA, eds. *Sustainability Analysis: an Interdisciplinary Approach*, London: Palgrave; 2012.
31. Shmelev SE. Dynamic sustainability assessment: the case of Russia in the period of transition (1985–2008). *Ecol Economics*. 2011;70(11):2039-49.
32. Shmelev SE, Speck SU. Green fiscal reform in Sweden: econometric assessment of the carbon and energy taxation scheme. *Renewable Sustainable Energy Rev*. 2018;90:969-81.
33. Shmelev SE, Shmeleva IA. Sustainable cities: Problems of integrated interdisciplinary research. *Int J Sustainable Develop*. 2009;12(1):4-23.
34. Shmelev S, ed. *Green Economy Reader. Lectures in Ecological Economics and Sustainability*, Springer. 2017.
35. Spangenberg JH. Institutional sustainability indicators: an analysis of the institutions in Agenda 21 and a draft set of indicators for monitoring their effectiveness. *Sustainable Development*. 2002;10:103-15.

36. Spangenberg JH. Hot air or comprehensive progress? A critical assessment of the SDGs. *Sustainable Development*. 2017;25:311-21.
37. Wei Y, Huang C, Lam PTI, Yuan Z. Sustainable urban development: A review on urban carrying capacity assessment. *Habitat Internat*. 2015;46: 64-71.
38. Wei Y, Huang C, Li J, Xie L. An evaluation model for urban carrying capacity: A case study of China's mega-cities. *Habitat Internat*.. 2016;53:87-96.
39. Wong C. A framework for 'City Prosperity Index': linking indicators, analysis and policy. *Habitat Internat*. 2015;45:3-9.
40. Yigitcanlar T, Dur F, Dizdaroglu D. Towards prosperous sustainable cities: a multiscalar urban sustainability assessment approach. *Habitat Internat*. 2015;45:36-46.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАВОДКОВ И НЕКОТОРЫХ БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОЛЛЮСКОВ СЕМЕЙСТВА *BITHYNIIDAE* – ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ХОЗЯЕВ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ОПИСТОРХОЗА

**А.С. Маюрова, М.А. Кустикова**

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: [asmaurova@gmail.com](mailto:asmaurova@gmail.com), [marinakustikova@mail.ru](mailto:marinakustikova@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 23.04.2019; принята к печати 23.05.2019

Исследована зависимость плотности популяций моллюсков семейства *Bithyniidae*, первого промежуточного хозяина *Opisthorchis felineus* (кошачьей двуустки), от максимального уровня половодья, концентрации загрязняющих веществ и наличия улитковой пиявки в водоемах Ханты-Мансийского автономного округа. Исследование проводилось на реках Обь (г. Сургут), Иртыш (г. Ханты-Мансийск) и Большой Юган (с. Угут). Показано, что плотность популяций этих моллюсков положительно коррелирует с уровнями паводков и отрицательно – с загрязненностью вод и наличием улитковой пиявки. Полученные данные могут быть использованы для прогноза плотности популяций моллюсков *Bithyniidae* и целесообразности особых мер против заражения описторхозом населения.

**Ключевые слова:** *Bithyniidae*, описторхоз, кошачья двуустка, паводки.

## A STUDY OF THE INFLUENCES OF RIVER FLOODS AND SOME BIOTIC FACTORS ON THE PREVALENCE OF *BITHYNIIDAE* SNAILS – INTERMEDIATE HOSTS OF CAUSATIVE AGENTS OF OPISTHORCHIASIS

**A.S. Mayurova, M.A. Kustikova**

ITMO University, Saint Petersburg, Russia

Email: [asmaurova@gmail.com](mailto:asmaurova@gmail.com), [marinakustikova@mail.ru](mailto:marinakustikova@mail.ru)

The dependence of population density of *Bithyniidae* snails, which are the first intermediate hosts of *Opisthorchis felineus* (cat fluke), on maximum flood levels, pollutant concentrations, and the presence of leeches was investigated in water basins of the Khanty-Mansi Autonomous Area. Study sites were at the rivers Ob (Surgut environ), Irtysh (Khanty-Mansiysk environ) and Bolshoy Yugan (Ugut village). The prevalence of the mollusk was shown to correlate positively with flood levels and negatively with water pollution and the presence of leeches that feed on snails. These observations may be useful for planning measures aimed to control opisthorchiasis in indigenous people that consume fish infected with opisthorchis flukes.

**Key words:** *Bithyniidae*, opisthorchiasis, Siberian fluke, correlation, population density.

### Введение

В мире насчитывается около 40 миллионов человек, инфицированных сибирской (кошачьей) двуусткой (*Opisthorchis felineus*), которая поражает гепатобилиарную систему человека и многих рыбоядных диких и домашних животных [5]. Проблема описторхоза является социально значимой и актуальной для многих регионов России. По данным Роспотребнадзора

за 2012 г.<sup>1</sup> две трети мирового ареала возбудителя описторхоза приходится на территорию России. Всего местные случаи заболевания описторхозом были выявлены в 63 субъектах Российской Федерации, а благоприятные условия для формирования очагов описторхоза сложились в 26 субъектах Российской Федерации.

<sup>1</sup> Письмо Роспотребнадзора от 28.09.2012 № 01/11095-12-23 «О заболеваемости описторхозом в Российской Федерации».

При этом удельный вес описторхоза в сумме инвазий показывает стабильный рост (3,84% в 1972 г. и 40,34% в 2011 г.).

Самый крупный и напряженный очаг описторхоза в мире – Обь-Иртышский, охватывающий 10 краев и областей России и Казахстана [8]. Ханты-Мансийский автономный округ является одним из нескольких гиперэндемичных регионов, что препятствует устойчивому развитию региона. В данном регионе заболеваемость описторхозом в 2012 г. составила 606,5 на 100 тыс. населения, что в 27 раз больше среднего показателя по Российской Федерации. В целом динамика заболеваемости по региону отрицательная: –4,2% в 2017 г., но в некоторых районах ХМАО, например в Березовском районе, темп прироста заболеваемости достигает 814,3%, а в городе Мегион – 153,4%<sup>2</sup>.

Для того чтобы не заразиться описторхозом, существуют простые правила обработки сырой рыбы. Население гиперэндемичных регионов постоянно оповещается о мерах профилактики, однако не у всех жителей есть возможность и желание их соблюдать. У некоторых коренных малочисленных народов Севе-

ра (КМНС) существуют определенные этнообразующие и этносохраняющие традиции питания, которые идут вразрез с мерами профилактики описторхоза.

Основным продуктом питания у КМНС в данном регионе является рыба, мясо занимает второе место. Существует множество традиционных способов обращения с рыбой, такие как сыроедение, замораживание, варение, вяление, сушение, копчение, слабый подогрев [3]. Почти все они недостаточны для уничтожения личинок описторхов в рыбе. Заболеваемость описторхозом у малочисленных народов крайне высока, а болезнь является характерной краевой патологией.

Возбудитель описторхоза – кошачья или сибирская двуустка (*Opisthorchis felineus*) относится к типу плоские черви (*Plathelminthes*, или *Platodes*), классу сосальщиков (*Trematoda*), подклассу двуусток [8].

Взрослые особи живут в печени, желчном пузыре, иногда в поджелудочной железе у человека и плотоядных животных. Тело кошачьей двуустки имеет небольшие размеры (длина – 8–19 мм, а ширина – 1–3 мм), форма тела листовидная удлинённая. Тело паразита желтого цвета, почти полностью прозрачное, кроме средней части тела, где находится матка, набитая яйцами. Яйца овальные, мелкие, желтого цвета, с крышечкой на переднем полюсе [6].

<sup>2</sup> Департамент здравоохранения Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Здоровье населения Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и деятельность медицинских организаций в 2017 году (статистические материалы).

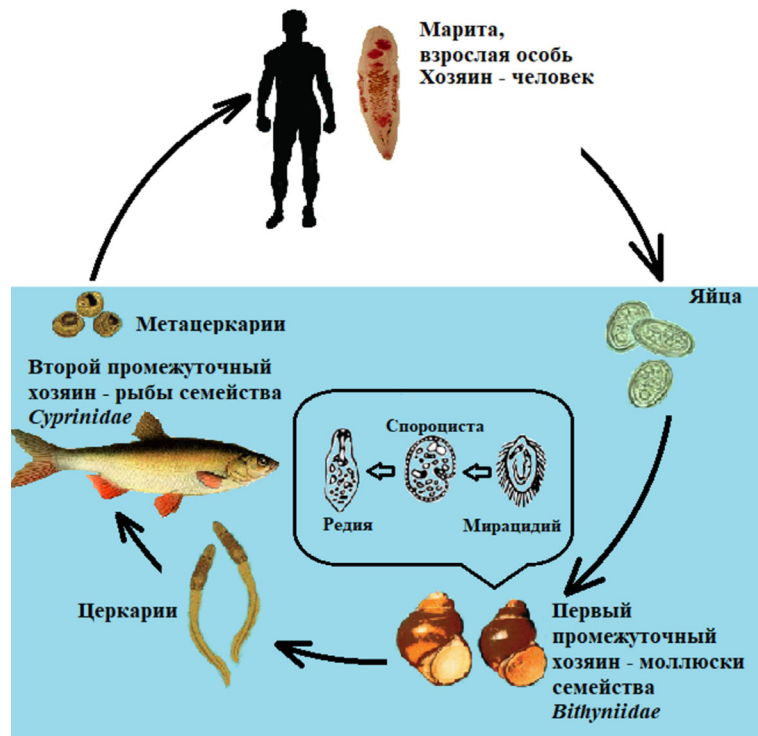


Рис. 1. Цикл развития *Opisthorchis felineus*

В полном цикле развития (рис. 1) участвуют два промежуточных хозяина – моллюски и рыбы, а также один окончательный – человек или плотоядные животные. Кошачья двуустка может жить у человека около 20 лет.

Кошачья двуустка травмирует слизистые оболочки желчных протоков, создает препятствия оттоку желчи и оказывает на организм хозяина токсическое воздействие [2]. Обнаружена взаимосвязь заболевания описторхозом с образованием опухолей гепатобилиарной (печеночной) системы. Международное агентство по исследованию рака отнесло *Opisthorchis felineus* к канцерогенам человека первой группы.

С неочищенными сточными водами яйца гельминтов выделяются во внешнюю среду, после чего яйцо открывается, высвобождая личинку – мирацидий, которая при помощи хоботка внедряется в организм моллюска и закрепляется в его внутренних органах. Находясь внутри тела моллюска, мирацидий преобразуется в спороцисту – половозрелую форму, способную к размножению, которая выглядит как неподвижный бесформенный мешок. В спороцисте образуются редии – подвижные формы, которые не покидают тело моллюска и в которых из отдельных зародышевых клеток развивается новая форма – церкарии. Церкарии покидают организм моллюска и попадают в воду, где они проникают в рыбу. Затем церкарии инцистируются и превращаются в метацеркарии описторхид [1].

Дальнейшее развитие метацеркарий и их преобразование в половозрелую гермафродитную особь возможно только тогда, когда второй промежуточный хозяин будет съеден окончательным хозяином – человеком или плотоядным животным. Попадая со съеденной рыбой в кишечник человека, личинки паразита покидают окружающую их оболочку и внедряются в поджелудочную железу, желчный пузырь и печень. Описторхи достигают половой зрелости примерно через две недели и приступают к отложению яиц [1].

Первым промежуточным хозяином кошачьей двуустки являются моллюски семейства *Bithyniidae*, широко распространенные в водоемах ХМАО. Основное место обитания битинид – пойменные эвтрофные водоемы, заливаемые во время весенних паводков и, по мере спада воды, обособляющиеся от русла реки [1]. Под это описание подходят многие реки ХМАО. Целью данной работы является определение зависимости плотности популяций моллюсков семейства *Bithyniidae* в реках ХМАО от биотических и абиотических факторов.

## Методы

Сбор моллюсков осуществляли летом 2012–2018 гг. с июня по июль, так как именно летом моллюски наиболее активны. На активность моллюсков влияют температурный режим, продолжительность паводков

и уровень воды в водоеме, а также изменение гидрохимических параметров.

Моллюсков собирали бентосным сачком, а также с погруженных в воду предметов (камни, палки, водная растительность) в семи точках каждого водоема вдоль береговой линии по площади 3–4 м<sup>2</sup> через каждые 10 м.

Плотность популяции моллюсков определяли подсчетом выловленных моллюсков в одном сачке и умножением этого количества на 3 [1].

Исследования проводили в трех точках (рис. 2): на реках Иртыш (г. Ханты-Мансийск), Обь (г. Сургут) и Большой Юган (с. Угут). Эти точки выбраны в соответствии с расположением станций Ханты-Мансийского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и доступностью береговой линии для вылова моллюсков и рыбы.

Уровень воды в Оби, Иртыше и Большом Югане в период весеннего половодья на несколько метров превышает меженный, в результате чего река, выходя из берегов, затопляет обширные пространства поймы примерно на полтора месяца. В затопленных эвтрофных озерах обитают битинии, и сюда же в мае-июле на нерест приходит рыба.

Согласно ежегодным докладом правительства ХМАО об экологической ситуации в округе, данные реки относятся к классу 4А и оцениваются как «грязные» из-за многократного превышения ПДК железа, меди и марганца. Водоемы, в которых содержится менее 0,8 мг/л растворенного кислорода, более 9 мг/л трехвалентного железа, 2,5 мг/л нитритов, 5 мг/л нитратов и менее 5 мг/л кальция, непригодны для обитания битиний [1]. Однако за все время наших исследований все концентрации загрязняющих веществ находились в пределах переносимости представителями семейства *Bithyniidae* (табл. 1).

В табл. 1 указаны максимальные концентрации загрязняющих веществ, которые превышали ПДК. Данные были получены из ежегодных докладов Правительства ХМАО об экологической ситуации в округе<sup>3</sup>. Прочерками обозначены вещества, для которых превышения ПДК в данный год не было. УКИЗВ – удельный комбинаторный индекс загрязненности воды, который является относительным комплексным показателем загрязненности поверхностных вод<sup>4</sup>. Данный индекс позволяет оценить долю загрязняющего эффекта, вносимого в общую степень загрязненности воды, которая в свою очередь обуславливается одновременным присутствием ряда загрязняющих веществ. Большому значению УКИЗВ соответствует худшее качество воды.

<sup>3</sup> Доклады об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 годах.

<sup>4</sup> РД 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям».



Рис. 2. Расположение точек отбора моллюсков. 1 – Обь (г. Сургут); 2 – Иртыш (г. Ханты-Мансийск); 3 – Большой Юган (с. Угут)

Одним из ключевых факторов для развития битинид является высота весеннего паводка, так как именно благодаря паводкам реки разливаются, затопляя обширные территории, где могут обитать моллюски.

В маловодные года, когда уровень воды половодья не очень высокий, пойменные озера иногда не получают дополнительного питания от реки и могут пересохнуть, что ведет к резкому сокращению популяций битинид в данных водоемах.

Для определения влияния климата и гидрологических показателей рек на количественное развитие битинид был проведен анализ высших уровней воды весенне-летнего половодья в 2012–2018 гидрологических годах (табл. 2). Данные были получены из ежегодных докладов Правительства ХМАО-Югры об экологической ситуации в округе<sup>5</sup>.

### Результаты

Во всех обследованных водоемах были обнаружены моллюски *Bithynia trosscheli* и *Bithynia tentaculata*. В период проведения исследования наблюдались колебания плотности популяций обоих видов моллю-

<sup>5</sup> Доклады об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 годах.

сков в зависимости от обилия паводков и развития видов элиминаторов (табл. 3).

С увеличением уровня паводков вода в эвтрофных озерах, где проводили анализ популяции моллюсков, обновляется в большем объеме, и из-за высокого уровня воды в водоемах увеличивается количество водной растительности. Все эти факторы ведут к увеличению активности моллюсков и их численности.

За все годы исследования в реке Большой Юган моллюски исследуемых видов обнаружены не были, однако при дальнейшем исследовании рыб семейства карповых, выловленных в данном водоеме, была обнаружена высокая степень зараженности некоторых видов метацеркариями описторхид. Скорее всего, заражение рыбы происходит при заходах в Обь и из Оби, где были обнаружены первичные хозяева *Opisthorchis*.

За время исследования плотность популяции *B. trosscheli* примерно в 2–3 раза превышала плотность популяции *B. tentaculata*. В целом плотность популяций данных моллюсков была не очень высока. В 2012 г. мы обнаружили низкую плотность популяции *B. trosscheli* и отсутствие моллюсков *B. tentaculata*, что, возможно, было связано с критически низким



Табл. 1

**Максимальные концентрации загрязняющих веществ, превышающие ПДК, и параметры поверхностных вод в ХМАО**

Показатель	Единица измерения	ПДК	Максимальное значение по годам					
			2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>р. Большой Юган (с. Угут)</b>								
БПК	мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3	–	–	–	–	6	4,8
УВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	–	–	–	–	0,08	0,12
Аммоний	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	1,6	1,5	2,1	2,6	1,8	–
Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,03	0,02	0,08	0,04	0,03	0,05
Железо	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	2,21	2,12	2,38	2,34	1,9	2,92
Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,41	0,48	0,98	0,35	0,04	0,05
Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,006	0,008	0,005	0,005	0,004	0,003
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,04	0,049	0,07	0,08	0,04	0,05
<b>р. Обь (г. Сургут)</b>								
БПК	мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3	12,1	11,1	12,3	6,6	13,2	10,2
УВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	–	–	–	–	0,13	0,41
Аммоний	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	–	–	–	0,65	1,7	–
Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,1	0,42	–	0,034	0,18	0,28
Железо	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	2,42	2,38	2,97	2,87	2,99	2,75
Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,45	0,29	0,78	0,41	0,27	0,095
Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,006	0,023	0,014	0,016	0,02	0,01
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,04	0,089	0,099	0,098	0,095	0,096
УКИЗВ	–	–	3,6	4,18	4,05	3,99	4,07	3,24
<b>р. Иртыш (г. Ханты-Мансийск)</b>								
БПК	мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3	–	11,4	4,2	–	14,7	6,3
УВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	–	–	–	–	0,38	0,1
Аммоний	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	–	–	2,35	1,75	1,5	–
Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	–	–	0,14	0,2	0,15	0,06
Железо	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	2,49	2,6	2,87	2,39	2,96	2,94
Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,42	0,46	0,79	0,47	0,18	0,16
Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,01	0,017	0,012	0,02	0,018	0,009
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,09	0,09	0,11	0,1	0,059	0,05
УКИЗВ	–	–	4,11	4,29	4,08	3,98	4,57	3,57

Табл. 2

**Уровни воды весенне-летнего половодья в 2012–2018 гг. (см. над нулевым уровнем поста)**

Река	Пост	Средний уровень	Высший уровень половодья по годам					
			2012	2013	2014	2015	2016	2017
Обь	Сургут	742	411	709	709	830	676	688
Большой Юган	Угут	733	560	750	743	831	801	760
Иртыш	Ханты-Мансийск	781	538	809	841	955	864	825

Табл. 3

Плотность популяций моллюсков в изученных водоемах

Водоем	Число моллюсков на 1 м <sup>2</sup> по годам						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<i>Bithynia tentaculata</i>							
Р. Обь (г. Сургут)	–	6 ± 2,3	–	10 ± 1,1	12 ± 1,4	13 ± 1,5	8 ± 1,5
Р. Большой Юган (с. Угут)	–	–	–	–	–	–	–
Р. Иртыш (г. Ханты-Мансийск)	–	8 ± 2,2	5 ± 2,2	15 ± 2,7	9 ± 1,6	13 ± 2,2	12 ± 1,8
<i>Bithynia trosscheli</i>							
Р. Обь (г. Сургут)	9 ± 1,4	22 ± 5,1	3 ± 1,4	18 ± 2,7	21 ± 4,5	25 ± 3,5	21 ± 4,3
Р. Большой Юган (с. Угут)	–	–	–	–	–	–	–
Р. Иртыш (г. Ханты-Мансийск)	15 ± 2,2	26 ± 2,8	45 ± 6,0	42 ± 2,7	40 ± 3,3	49 ± 2,6	30 ± 4,9

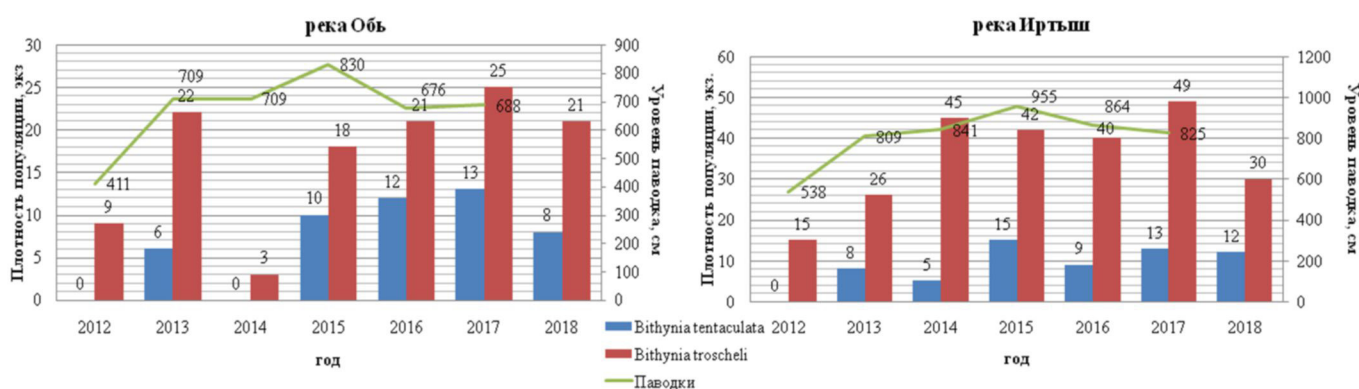


Рис. 3. Плотности популяции *B. trosscheli* и *B. tentaculata* и уровни паводков в реках: а) Обь (г. Сургут); б) Иртыш (г. Ханты-Мансийск) по годам

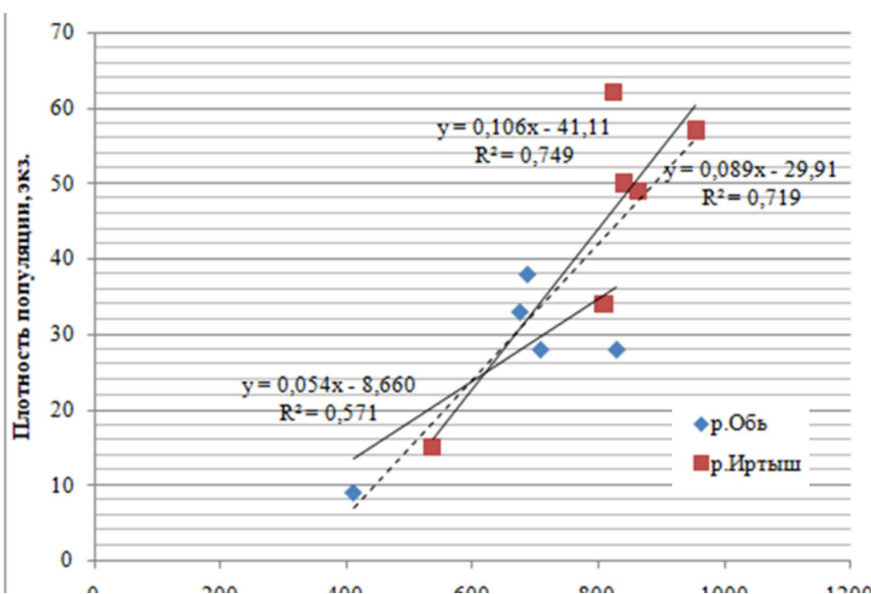


Рис. 4. Корреляции между суммарной плотностью популяций *B. trosscheli* и *B. tentaculata* и уровнями паводков в р. Обь (г. Сургут) и Иртыш (г. Ханты-Мансийск). Пунктиром показана линия регрессии плотности популяции на уровне паводка по обоим рекам

уровнем паводка в этом году. Многие озера, где обитают битинии, обмелели и пересохли.

В реках Обь и Иртыш наибольшая плотность популяции *B. troscheli* была обнаружена в 2017 г. Это связано с высоким уровнем паводков в данном году, а также с невысокой относительно других годов максимальной концентрацией загрязняющих веществ, превышающих ПДК. Плотность популяции *B. tentaculata* в 2017 г. была так же высока, однако наивысшая плотность данного вида была обнаружена в 2015 г., что, возможно, связано с разными пределами толерантности двух видов к загрязняющим веществам.

В 2014 г. в пойме реки Обь плотность популяции моллюсков была невелика, однако было обнаружено большое количество раковин. Гибель моллюсков можно объяснить биотическими факторами. В данный год замечено массовое развитие пиявок рода *Glossiphonia* (улитковая пиявка), для которых битинии являются основным кормом. Такое развитие популяции пиявок могло быть связано с повышением плотности популяции моллюсков в предыдущий год, а также с невысокой относительно других годов максимальной концентрацией загрязняющих веществ, превышающих ПДК.

Таким образом, можно предположить, что заражение рыб семейства карповых метацеркариями описторхид в 2014 г. в реке Обь, в 2012 г. в реках Обь и Иртыш было слабым или отсутствовало совсем, так как первый промежуточный хозяин возбудителя описторхоза в водоемах практически отсутствовал.

Были выявлены зависимости плотностей популяций *B. troscheli* и *B. tentaculata* от нескольких факторов: концентрация загрязняющих веществ, развитие вида элиминатора – улитковой пиявки, а также уровень паводка. Зависимости от паводков для каждого вида представлены на рис. 3.

Коэффициент детерминации, показывающий степень влияния уровня паводков на плотность популяции, для реки Иртыш является более высоким, чем для реки Обь. Это может быть связано с более значи-

тельным влиянием других факторов, таких как концентрации загрязняющих веществ и развитие популяций видов элиминаторов на популяции битиний в реке Обь.

Корреляции между уровнями паводков и суммарной плотностью популяций обоих видов на двух реках показаны на рис. 4.

### Заключение

По данным Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека на сегодняшний день описторхоз все так же является опасной угрозой для населения России. Самый крупный очаг описторхоза находится в Обь-Иртышском бассейне, куда входит ХМАО. На территории округа располагаются биотопы, в которых обитают моллюски семейства *Bithyniidae*, являющиеся первым промежуточным хозяином *O. felineus*, и от плотности популяций которых зависит экстенсивность инвазии рыб семейства карповых, а следовательно, и человека.

По результатам исследования можно сделать вывод, что плотность популяции найденных видов битинид зависит от нескольких факторов, перечисленных выше. Наибольшая плотность популяции достигается при высоком уровне паводка весной, при относительно низких концентрациях загрязняющих веществ и низком развитии видов элиминаторов.

Полученные результаты в целом схожи с результатами, полученными для других регионов, где отмечалась зависимость плотности популяций моллюсков от содержания тяжелых металлов в донных отложениях, от концентрации нефтепродуктов в воде и от уровня паводка [4, 7]. Доминирование популяции одного вида моллюсков семейства *Bithyniidae* над другими также отмечалось в работах авторов [7, 9].

Полученные данные следует учитывать для прогноза плотностей популяции моллюсков в зависимости от уровня половодья, возможного уровня заражения рыб семейства карповых метацеркариями описторхид и необходимости усиливать меры против описторхоза.

### Литература

#### Список русскоязычной литературы

1. Беэр С.А. Биология возбудителя описторхоза. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2005.
2. Гаин ЮМ, Демидчик ЮЕ, Шахрай СВ. Хирургические болезни: симптомы и синдромы. Том 2. Минск: Белорусская наука; 2013.
3. Мартынова ЕП. Традиционные отрасли хозяйства обских угров: современные адаптивные стратегии в рыночной экономике. Вестник угроведения. 2017;4(31):119-30.
4. Мусыргалина ФФ, Целоусова ОС. Оценка инвазивности моллюсков рода *Codiella* пар-

тенидами описторхид в водоемах республики Башкортостан. Современные проблемы науки и образования. 2015;(6):617.

5. Николаева Н, Николаева Л, Гигилева О. Описторхоз (эпидемиология, клиника, диагностика, лечение). Врач. 2005;(1):17-21.
6. Осиповский АИ. Учебник паразитологии с энтомологией. М.: Медгиз; 1959.
7. Плеханова ВВ, Гашев СН. Устойчивость паразитофауны моллюсков сем. *Bithyniidae* и сем. *Limneidae* водоемов г. Тюмени к действию антропогенных факторов. Вестник Тюменского государственного университета. 2011;(12):103-7.
8. Федорова ОС, Ковширина ЮВ, Ковширина АЕ, Федотова ММ, Деев ИА, Петровский ФИ, Филимонов АВ, Дмитриева АИ, Кудяков ЛА, Салтыкова ИВ, Михалев ЕВ, Одерматт П, Огородова ЛМ. Анализ заболеваемости инвазией *Opisthorchis felineus* и злокачественными новообразованиями гепатобилиарной системы в Российской Федерации. Бюллетень сибирской медицины. 2016;15(5):147-58.
4. Musyrgalina FF, Tsyelousova OS. [Assessment of invasion of mollusks of the *Codiella* genus by parthenites of opisthorchids in water basins of Bashkortostan]. *Sovremennye Probleny Nauki i Obrazovaniya*. 2015;(6):617. (In Russ.)
5. Nikolayeva N, Nikolayeva L, Gigileva O. [Opisthorchiasis (epidemiology, clinics, diagnostica, and treatment)]. *Vrach*. 2005; (1):17-21. (In Russ.)
6. Osipovskiy AI. *Uchebnik Parazitologii s Entomogiyey*. Moscow: Medgiz; 1959. (In Russ.)
7. Plekhanova VV, Gashev SN. [The resistance of parasite fauna of *Bithyniidae* and *Limneidae* snails in Tyumen water bodies to anthropogenic factors]. *Vestnik Tiimenskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2011;(12):103-7. (In Russ.)
8. Fedorova, OS, Kovshirina YuV, Kovshirina AYe, Fedotova MM, Deyev IA, Petrovskiy FI, Filimono AV, Dmitriyeva AI, Kudyakov LA, Saltykova IV, Mikhalev YeV, Odermatt P, Ogorodova LM. [Analysis of the incidences of invasion by *Opisthorchis felineus* and of malignant neoplasms of the hepatobiliary system in the Russian Federation]. *Bulleten' Sibirskoy Meditsyny*. 2016;15(5):147-58. (In Russ.)
9. Kulsantiwong J, Prasopdee S, Piratae S, Khampoonsa P, Thammasiri C, Suwannatrai A. Trematode Infection of Freshwater Snail, Family *Bithyniidae* in Thailand. *Southeast Asian J Trop Med Public Health*. 2015;46(3):396-405.

#### Общий список литературы/Reference List

1. Beer SA. *Biologiya Vozbuditelia Opistorkhoza*. Moscow: KMK; 2005. (In Russ.)
2. Gain YuM, Demidchik YuYe, Shakhray SV. *Khirurgicheskiye Bolezni: Simptomy i Sindromy*, Tom 2. Minsk: Belarusskaya Navuka; 2013. (In Russ.)
3. Martynova EP. [Traditional branches of the Ob Ugrian economy: modern adaptive strategies in a market



# КОГНИТИВНАЯ МОДЕЛЬ КОЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ И ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

**В.В. Меншуткин<sup>1, 2</sup>, В.Ф. Левченко<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН  
и <sup>2</sup> Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* Эл. почта: [lew@lew.spb.org](mailto:lew@lew.spb.org)

Статья поступила в редакцию 27.02.2019; принята к печати 12.04.2019

Разработана простая когнитивная модель антропосферы, включающая в себя характеристики природных экосистем, человеческих популяций, промышленного производства, загрязнения среды и расходования ископаемых ресурсов. Поверхность Земли представлена в виде 20 ячеек (регионов), соединенных миграционными и информационными связями. Исследовано влияние различных стратегий природопользования на динамику всей системы, а также чувствительность системы к колебаниям климата и изменению внутренних параметров. Критерием оптимального управления выбран уровень жизни населения. Сделан вывод о необходимости включения «человеческого фактора» в модели глобального развития.

**Ключевые слова:** антропосфера, когнитивная модель, экосистемы, производство, загрязнение среды, стратегия природопользования.

## A COGNITIVE MODEL OF COEVOLUTION OF THE BIOSPHERE AND THE HUMAN SOCIETY

**V.V. Menshutkin<sup>1, 2</sup>, V.F. Levchenko<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> I. M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences and  
<sup>2</sup> Institute of Problems of Regional Economics, Russian Academy of Sciences,

Saint Petersburg, Russia

\* Email: [lew@lew.spb.org](mailto:lew@lew.spb.org)

A simple cognitive model of the anthroposphere has been developed. The model includes characteristics of natural ecosystems, human populations, industrial production, environmental pollution and fossil fuel consumption. The surface of the Earth is represented as 20 cells (regions) interconnected via migration and information flows. The influences of various environmental management strategies on the dynamics of the entire system, as well as the sensitivity of the system to climate fluctuations and changes in the internal parameters, were studied. Living standard of a population is chosen as a criterion of optimal control. The conclusion is that the "human factor" should be included in models of global development.

**Keywords:** anthroposphere, cognitive model, ecosystems, production, environmental pollution, environmental management strategy.

### ВВЕДЕНИЕ

Проблеме коэволюции биосферы и человеческого общества – иначе это можно сформулировать как «переход от антропосферы к ноосфере» – посвящена обширная литература (см. об этом [25]). Можно также указать на попытку Карлоса Гарсиа собрать библиографию на эту тему. На 2008 г. ему удалось найти 734 литературных ссылки про ноосферу и проблемы ее моделирования<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Carlos Garcia. Noosphere. Reference (1928–2007), 2008. К сожалению, на настоящий момент в Интернете в открытом доступе этой публикации нет. Сведения о ней можно найти на <http://ru.scribd.com> (Noosphere-734 Bibliographic Reference (1927–2007)) или на сайте [https://books.google.ru/books?id=KdEVA AAAQBAJ&pg=PT180&lp-g=PT180&dq=Carlos+Garcia.+Noosphere&source=bl&ots=NJR8U18\\_Oo&sig=ACfU3U0AhyEPWhOdEseUbbdm73D-4vDig&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKewi7uszAtMHgAhWNIZoKHXHAKwQ6AEwDHoE-CAIQAQ#v=onepage&q=Carlos%20Garcia.%20Noosphere&f=false](https://books.google.ru/books?id=KdEVA AAAQBAJ&pg=PT180&lp-g=PT180&dq=Carlos+Garcia.+Noosphere&source=bl&ots=NJR8U18_Oo&sig=ACfU3U0AhyEPWhOdEseUbbdm73D-4vDig&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKewi7uszAtMHgAhWNIZoKHXHAKwQ6AEwDHoE-CAIQAQ#v=onepage&q=Carlos%20Garcia.%20Noosphere&f=false) (Manifiesto por la Noosfera: La siguiente etapa en la evolución de la conciencia humana).

Что касается моделирования, то здесь имеется несколько подходов. Начнем с того, что по топологическому признаку все модели развития биосферы делятся на точечные и пространственные. Первые игнорируют различие биосферных переменных по поверхности Земли, а вторые эти различия учитывают. Типичные представители первого типа – это модели Форрестера [23] и Мидоузов [29], а среди российских авторов – Ю.Н. Сергеева и В.П. Кулеша [22]. Среди моделей второго типа – это модели Н.Н. Моисеева, характерной чертой которых является строгое соблюдение законов сохранения, развитые также в работах А.М. Тарко и В.В. Александрова [19]. Достоинство моделей первого типа – в их простоте и наглядности, а второго – в использовании громадного фактического материала.

По содержательному признаку можно выделить модели, которые делают основной упор на

геохимические циклы [31] или же на развитие экономики и ее взаимодействие с природой [2, 11]. Промежуточные подходы, сочетающие оба типа процессов, можно обнаружить уже в концепции этногенеза Л.Н. Гумилева [7], а позднее у Дж. Лавлока в его концепции Гайи [9]. Примеры общеподходных «с точки зрения физика» к биосферному моделированию можно найти у довольно большого круга авторов, например, в монографиях А.С. Гинзбурга [3] и Н.С. Печуркина [21], в статьях В.Г. Горшкова, К.Я. Кондратьева и К.С. Лосева [5], а также в статьях и монографии В.Ф. Левченко [13].

Что касается используемого математического аппарата в моделях биосферных процессов, то здесь доминируют системы дифференциальных уравнений, которые решаются численными методами на ЭВМ. Это относится и к биогеохимическим циклам, и к экономическим и демографическим моделям. Как исключения встречаются модели, использующие аппарат клеточных автоматов и агент-ориентированные модели [15]. В настоящей работе используется еще один новый подход – аппарат когнитивного моделирования [1, 17].

Ни в коей мере не претендуя на исчерпывающий анализ биосферных моделей, позволим себе отметить специфическую сложность самого объекта моделирования. Дело в том, что при взаимодействии человеческой популяции с биосферой одновременно действуют несколько совершенно разных типов процессов: от физических, химических и биологических до социальных и информационных. При этом пространственный масштаб различных процессов и объектов, участвующих в них, варьирует от молекулярного (например, фотосинтез у одноклеточных водорослей) до глобального. Это касается не только пространственных и территориальных, но в ряде случаев экономических и политических аспектов (например, международные соглашения об охране природы). Разброс в типах процессов и их характерных особенностях настолько велик, что это создает очень большие трудности при построении обобщающих моделей. В этом плане можно уподобить задачу моделирования эволюции биосферы задаче моделирования человеческого мозга: и здесь, и там накоплено огромное количество фактических данных, но отсутствует общая концепция. Однако стоит отметить, что попытки создания такой концепции применительно к биосфере уже имеются [24, 25]. Основные положения этой концепции изложены в книге «Очерки по биосферологии» [25].

Настоящая работа представляет собой попытку модельной интерпретации идей, обсуждаемых в этой работе. Отправной точкой моделирования послужил рис. 14 из упомянутых очерков [25, с. 94–

95]. Эта качественная иллюстрация функциональных взаимоотношений между компонентами живой планеты стала основой когнитивной карты ячейки модели антропосферы, описание которой приведено ниже. В отличие от моделей биосферы, разработанных под руководством академика Н.Н. Моисеева [19], в настоящей работе не используется математический аппарат дифференциальных уравнений. Такой, уже ставший классическим подход требует многолетнего труда целого научного коллектива, а также мощной, уникальной и при этом малодоступной вычислительной техники. Поэтому было принято решение об использовании для моделирования антропосферы нового когнитивного подхода [1, 20].

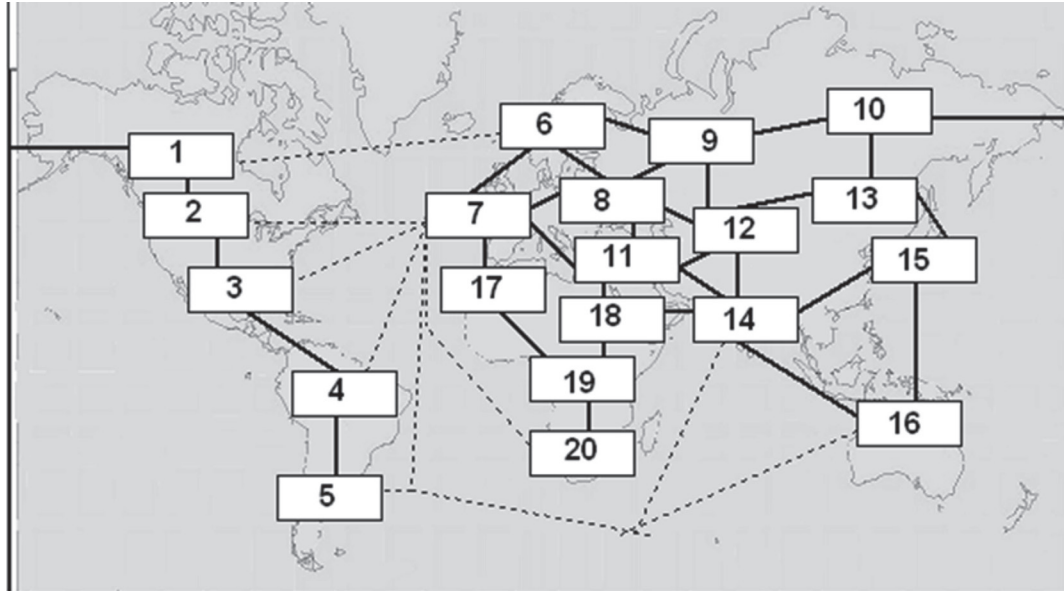
Существо когнитивного моделирования заключается в том, что вместо экспериментов, воспроизводящих в модели с максимальной точностью процессы, происходящие в объекте моделирования, делается попытка воспроизвести ход мыслей человека, изучающего данный объект [4, 6, 8, 26–28]. Такой подход не имеет практического смысла по отношению к хорошо изученным процессам (например, ламинарное течение жидкости, или движение материальной точки). Однако он хорошо зарекомендовал себя при моделировании плохо структурированных систем [6, 10, 17, 30]. Особенно эффективным когнитивный подход оказался в случае междисциплинарных исследований. Моделирование эволюции антропосферы как раз и есть тот самый случай, когда переплетаются экологические, экономические, демографические и социальные процессы.

В настоящей работе используется простейший вариант когнитивной модели, в котором концепты представлены в виде действительных чисел, определенных в диапазоне от 0 до 1. Связи между концептами задаются в виде ориентированного графа, а для их описания применен математический аппарат непрерывной логики [12].

## 1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Модель представлена совокупностью 20 подсистем (ячеек или, иначе, регионов), соединенных путями миграций населения и передачи научно-технической информации. Каждая такая ячейка представляет собой эколого-экономическую систему, включающую в себя природную часть, характеризующуюся условной биомассой, и фрагмент человеческого общества, обитающий на территории данной ячейки. Программа модели работает пошагово, отслеживая состояние на каждом временном шаге.

Концепты описаны в табл. 1, логика их взаимосвязей представлена в табл. 2, а когнитивный граф, общий для каждой эколого-экономической системы (ячейки), представлен на рис. 2. Внешние воздействия на ячейку представлены климатическими условиями *A*,



**Рис. 1.** Общая схема расположения ячеек (регионов) и миграционных путей между ними. Сплошные линии – сухопутные пути, пунктирные – морские

Табл. 1

**Обозначения и наименования концептов модели**

Индекс	Обозначение	Смысловая нагрузка	Пределы определения
1	<i>A</i>	Климат	От арктического до тропического
2	<i>B</i>	Биомасса	От минимальной до максимальной
3	<i>H</i>	Население	От отсутствия до перенаселения
4	<i>P</i>	Производство	От примитивного до развитого
5	<i>M</i>	Минеральное сырье	От отсутствия до изобилия
6	<i>S</i>	Наука и техника	От первобытного до современного
7	<i>W</i>	Загрязнение среды	От нетронутой человеком среды до катастрофического уровня загрязнения
8	<i>L</i>	Уровень жизни населения	От нищенского до полного изобилия
9	<i>U</i>	Управление	От полного игнорирования охраны природы до приоритета охраны среды

в частности, интенсивностью солнечной радиации. Биомассе всего живого за исключением человеческой популяции соответствует состояние концепта *B*. Изменение биомассы во времени ограничивается величиной солнечной радиации и эффективностью ее утилизации (см. табл. 2).

Взаимосвязи концептов в модели удобно описывать, используя математический аппарат непрерывной логики [12]. Поскольку для многих такой подход является непривычным, в качестве примера приведем только одну формулу, с помощью которой учитывается

отмирание биомассы (*k<sub>b</sub>mort*) и ее потребление для нужд человеческого общества (*k<sub>b</sub>h*):

$$B(i, t + 1) = B(i, t) \cdot V \neg (B(i, t), V \cdot k_{b}mort(i));$$

$$B(i, t + 1) = B(i, t) \cdot V \neg (H(i, t) \cdot V \cdot k_{b}h(i)).$$

Здесь *t* – время, *i* – номер временного шага.

На качественном уровне логику взаимосвязей концептов в модели ячейки антропосферы можно также уяснить, используя сведения из табл. 2 и рис. 2.

Табл. 2

Логика взаимосвязей концептов в модели ячейки антропосферы и используемые в модели коэффициенты связи

Индекс	Входной концепт	Выходной концепт	Логическое содержание связи концептов	Коэффициент связи	Знак связи
1	A	B	Влияние климатических условий на биомассу и продукцию экосистем	kab	+
2	B	H	Потребление продукции экосистем населением	kbh	+
3	H	B	Убыль природной биомассы за счет потребления	khb	-
4	H	P	Зависимость рабочей силы для производства от численности населения	khp	+
5	S	P	Зависимость производства от уровня научно-технического прогресса	ksp	+
6	M	P	Зависимость производства от наличия минерального сырья	kmp	+
7	P	P	Темпы роста производства за счет роста производственных фондов	kpp	+
8	P	W	Загрязнение окружающей среды за счет выброса отходов производства	kpw	+
9	P	L	Рост уровня жизни населения за счет производства	kpl	+
10	W	L	Падение уровня жизни населения в связи с загрязнением окружающей среды	kwl	-
11	W	B	Сокращение биомассы природных экосистем от загрязнения среды	kpb	-
12	U	W	Очистка среды от загрязнений	kuw	-
13	U	W	Внедрение безотходных технологий	kpw	+

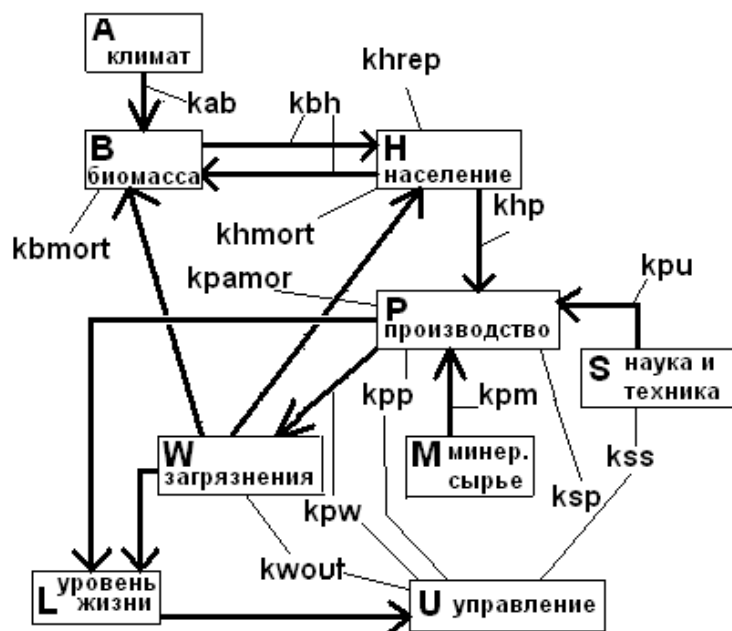


Рис. 2. Когнитивная карта ячейки модели, отражающая функциональные взаимозависимости между концептами (описание действия концепта "U управление" приведено в тексте)



Эти же сведения – основные взаимосвязи между различными концептами – в словесной форме кратко описаны ниже.

Численность человеческой популяции ( $H$ ) возрастает в процессе размножения ( $khrep$ ) и сокращается в результате смертности ( $khmort$ ).

Развитие промышленности ( $P$ ) определяется наличием рабочей силы ( $khp$ ), уровня развития науки и техники ( $ksp$ ), а также потреблением не возобновляемых ресурсов ( $kpm$ ). Кроме этого промышленности приписывается свойство собственного развития за счет внутренних отчислений ( $kpp$ ).

В модели учитывается сокращение производства в результате амортизации фондов ( $kramog$ ) и недостаточного количества не возобновляемых ресурсов ( $kpm$ ). Разумеется, что учтено также и то, что количество не возобновляемых ресурсов уменьшается в результате их потребления.

Концентрация загрязнений в окружающей среде сокращается в результате очистки ( $kwout$ ), но увеличивается за счет новых поступлений загрязнений ( $kpw$ ).

Уровень развития науки и техники может возрастать как в силу внутренних причин ( $kss$ ), так и с помощью управляющих воздействий со стороны государства ( $kps$ ).

Уровень жизни населения полагается прямо пропорциональным валовому продукту и обратно пропорциональным загрязнению среды.

Управляющее воздействие на систему ( $U$ ) осуществляется концептом, состояние которого может изменяться от полного отказа от очистки сбросов ( $U = 0$ ) до полного отказа от сброса загрязнений в окружающую среду ( $U = 1$ ). В первом случае сбросы не очищаются ( $kwout = 0$ ), а отходы производства сбрасываются в неочищенном виде ( $kpw = 1$ ). При этом некоторое время за счет валового продукта возможны рост производства ( $kpp$ ) и технический прогресс ( $kss$ ). Во втором случае осуществляется полная очистка ( $kwout = 1$ ) и переход на замкнутые технологические циклы ( $kpw = 0$ ). Рост производства и развитие техники финансируются по остаточному принципу. При промежуточных значениях концепта  $U$  коэффициенты воздействия определяются при помощи линейной интерполяции.

В модели предусмотрены два типа взаимодействия между ячейками. Первый тип – миграции населения из одной ячейки в другую. Возможные пути миграций определяются по матрице связей графа (рис. 1). Если для элемента матрицы  $MIG(n, j) = 1$ , то перемещение населения из ячейки  $n$  в ячейку  $j$  возможно. Если из одной ячейки исходят несколько путей, то использование этих путей полагается равновероятным, и решение принимается с помощью генератора случайных чисел. Если миграция происходит в необитаемую ячейку, то значение всех параметров переносятся в

эту ячейку. В случае, когда миграция происходит в уже обитаемую ячейку, параметры усредняются пропорционально численностям аборигенов и мигрантов. Исключение сделано для параметров, которые характеризуют уровень научно-технического прогресса ( $S$ ) и методов управления ( $U$ ): они берутся по максимуму. Миграции по путям, обозначенным на рис. 1 пунктирными линиями, считаются возможными только в том случае, когда в исходной ячейке уровень научно-технического прогресса выше значения специального параметра  $ksmig$ .

Второй тип связей между ячейками – это распространение научно-технической информации без перемещения мигрантов. В этом случае получатель повышает свой уровень научно-технического прогресса до значений ячейки отправителя. Такая передача считается возможной только при высоких значениях  $S$  ячейки отправителя.

Нами рассматривался также вариант модели, в котором численность населения ячейки представлялась не в виде непрерывной величины, плавно изменяющейся во времени по тем или иным причинам, а иногда меняющейся скачкообразно по причине смены этноса в ячейке. При этом используется в схематическом виде теория этногенеза, предложенная Л.Н. Гумилевым [7]. Предполагается, что новый этнос (или, точнее говоря, – этнопопуляция [13]) может появиться на месте старого в течение одного временного шага модели. Индекс ячейки, в которой происходит это событие, выбирается случайным образом. Индекс активности населения этноса полагается резко возрастающим после возникновения нового этноса, а затем медленно снижающимся по мере старения этноса. От этого индекса зависят интенсивность научно-технического прогресса ( $S$ ) и характер взаимодействия с окружающей средой ( $U$ ). При этом предусмотрены два варианта. Первый полагает стремление к низким значениям  $U$ , то есть стремление к развитию производства без внимания к загрязнению среды. Второй, наоборот, ставит основной задачей управления сохранение чистоты окружающей среды (высокие значения  $U$ ).

Стоит подчеркнуть, что в варианте модели с учетом этногенеза предполагалось, что отношение к природе – это одна из важнейших характеристик этноса, его культуры (в широком смысле), которая может измениться только при переходе к другому этническому состоянию.

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ

Исследование модели начнем с рассмотрения гипотетического случая, при котором управление эколого-экономическими системами во всех ячейках одинаково при сохранении индивидуальных климатических и природных особенностей в каждой из них – см. табл. 3. При полном пренебрежении природоохран-

ными мероприятиями (первый столбец,  $U = 0,1$ ) загрязнение среды быстро достигает катастрофических размеров в среднем по всей биосфере. Смертность населения высока, и промышленность не может развиваться из-за нехватки рабочей силы. В результате уровень жизни населения крайне низок ( $L = 0,033$ ).

Введение даже частичной очистки промышленных отходов (второй столбец  $U = 0,3$ ) уже существенно снижает загрязненность среды по сравнению с предыдущим вариантом. Это приводит к росту численности населения и подъему промышленного производства. Уровень жизни повышается почти вдвое.

Дальнейшее продвижение по пути совершенствования природоохранной политики (с учетом дополнительных затрат на очистку сбросов и внедрение безотходных технологий) развивает наметившуюся тенденцию к росту промышленности, народонаселе-

ния и уровня жизни. Одновременно уменьшается загрязненность среды вплоть до почти максимальных значений при  $U = 0,9$ , и увеличивается степень использования не возобновляемых ресурсов ( $M$ ).

Изменение состояния исследуемой системы под действием внешних и внутренних возмущений рассмотрим на примерах глобальных изменений климатических условий – концепт  $A$  в табл. 4. Общее похолодание ( $A$  составляет 0,7 от базового варианта) сказывается в первую очередь на биомассе экосистем в сторону ее снижения. Тем не менее, подобное изменение влечет за собой увеличение численности населения планеты за счет снижения смертности в тропических регионах. Помимо этого, оно стимулирует рост производства, но, вместе с тем, и усиление загрязнения среды. Несмотря на негативные тенденции, уровень жизни населения растет.

Табл. 3

**Устойчивые состояния системы при различных типах управления ( $U$ ), постоянных климатических условиях и низком уровне научно-технического прогресса**

$U$ тип управления	$U = 0,1$	$U = 0,3$	$U = 0,5$	$U = 0,7$	$U = 0,9$
$A$ климат	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
$B$ биомасса	0,464	0,463	0,444	0,413	0,318
$H$ население	0,311	0,420	0,530	0,653	0,998
$P$ производство	0,092	0,108	0,124	0,144	0,202
$W$ загрязнения	0,642	0,407	0,262	0,155	0,002
$M$ минеральные ресурсы	0,080	0,071	0,057	0,043	0,020
$S$ наука и техника	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
$L$ уровень жизни	0,033	0,064	0,091	0,121	0,202

Табл. 4

**Реакция системы на глобальное изменение климатических условий  $A$  (первые два столбца после базового варианта – значения 0,7*A* и 1,3*A*), исходных запасов не возобновляемых ресурсов  $M$  (третий и четвертый столбцы – значения 0,7*M* и 1,3*M*) и уровня развития науки и техники  $S$  (последние два столбца)**

Воздействие на систему	Базовый вариант	$A \times 0,7$	$A \times 1,3$	$M \times 0,7$	$M \times 1,3$	$S = 0,2$	$S = 0,5$
$A$ климат	0,574	0,440	0,630	0,574	0,574	0,574	0,574
$B$ биомасса	0,464	0,446	0,617	0,464	0,464	0,492	0,441
$H$ население	0,421	0,619	0,477	0,421	0,419	0,645	0,801
$P$ производство	0,101	0,136	0,112	0,099	0,103	0,165	0,236
$W$ загрязнения	0,119	0,150	0,136	0,118	0,121	0,095	0,044
$M$ минеральные ресурсы	0,080	0,037	0,052	0,065	0,146	0,032	0,009
$S$ наука и техника	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2	0,5
$L$ уровень жизни	0,098	0,116	0,094	0,091	0,104	0,149	0,225

Глобальное потепление ( $A \times 1,3$ ) резко увеличивает биомассу наземных и морских экосистем, но одновременно увеличивает и смертность в тропических регионах. В итоге численность населения планеты растет незначительно за счет снижения смертности в регионах с холодным климатом. Развитие промышленности и прирост загрязнений также не велик, а уровень жизни населения даже немного снижается по сравнению с базовым вариантом.

Изменение исходных запасов не возобновляемых ресурсов никак не влияет на биомассы экосистем, однако при повышении этих запасов интенсифицируется в небольшой степени промышленное производство и растет уровень жизни в промежутки времени, длящийся до полного исчерпания этих ресурсов.

Два последних столбца в табл. 4 касаются выяснения роли научно-технического прогресса в динамике изучаемой системы. Предыдущие столбцы этой таблицы рассчитывались в предположении низкого уровня ( $S = 0,05$ ) научной и технической составляющей в процессе взаимодействия человеческого общества и биосферы. Увеличение этого показателя до значений  $S = 0,2$  ведет к существенной интенсификации производства и повышению уровня жизни населения. Это связано со снижением уровня загрязнения окружающей среды за счет внедрения безотходных технологий. Дальнейшее возрастание уровня технического прогресса до  $S = 0,5$  позволяет существенно повысить уровень жизни населения.

Для изучения динамических характеристик системы обычно применяются коэффициенты чувствительности, которые вычисляются по соотношению:

$$E(y, x) = \frac{\Delta y / y}{\Delta x / x},$$

где  $x$  – возмущающее воздействие;  $y$  – изучаемая переменная.

Результаты анализа чувствительности («эластичности») нашей модели к изменению ее параметров приведены в табл. 5.

Увеличение параметра смертности населения ( $khmor$ ) не только приводит к снижению численности населения, но и ведет к повышению биомассы естественных экосистем. Однако из-за недостатка рабочей силы снижается производство, а вместе с этим, но с меньшей интенсивностью, снижается степень загрязнения. Разумеется, при этом остается больше неиспользованных полезных ископаемых. Уровень жизни населения снижается незначительно.

Параметр воспроизводства населения ( $khrep$ ) положительно влияет на численность населения, интенсивность производства и уровень жизни населения, но отрицательно – на остаток неиспользованного минерального сырья.

Ускорение амортизации производственных фондов ( $kramor$ ) не оказывает влияния на биомассу экосистем, но снижает производство и загрязнение среды при незначительном снижении уровня жизни населения.

Ускорение темпов добычи минерального сырья ( $kpm$ ) ведет, естественно, к сокращению его запасов, но, помимо этого, в итоге приводит к сокращению производства и снижению уровня жизни населения. Рост эффективности научных исследований и их внедрение в производство ( $ksp$ ) ведет не только к росту производства, но и некоторому снижению численности населения, хотя уровень жизни при этом повышается.

Усиление темпов использования человеческим обществом продукции экосистем ( $kbh$ ) ведет к существенному сокращению биомассы этих систем. Это отрицательно сказывается на других компонентах системы, включая и уровень жизни населения.

Влияние стратегии природопользования ( $U$ ) и научно-технического прогресса ( $S$ ) на исследуемую систему целесообразно рассматривать совместно в форме изоплетных диаграмм (рис. 3). Поскольку эти факторы действуют на уровень жизни населения в некотором смысле разнонаправлено: развитие техники повы-

Табл. 5

**Коэффициенты чувствительности средних характеристик антропосферы при различных параметрах связи между концептами**

Параметры связи между концептами	khmor	khrep	kramor	kpm	ksp	kbh
<i>B</i> биомасса	+0,352	-0,318	0,0	+0,005	+0,005	-0,249
<i>H</i> население	-0,615	+0,144	+0,007	+0,004	-0,025	-0,036
<i>P</i> производство	-0,561	+0,052	-0,041	-0,023	+0,279	-0,023
<i>W</i> загрязнения	-0,072	+0,084	-0,034	-0,055	+0,080	-0,029
<i>M</i> минеральные ресурсы	+0,31	-0,076	-0,084	-0,861	-0,276	+0,068
<i>L</i> уровень жизни	-0,020	+0,061	-0,020	-0,022	+0,264	-0,025

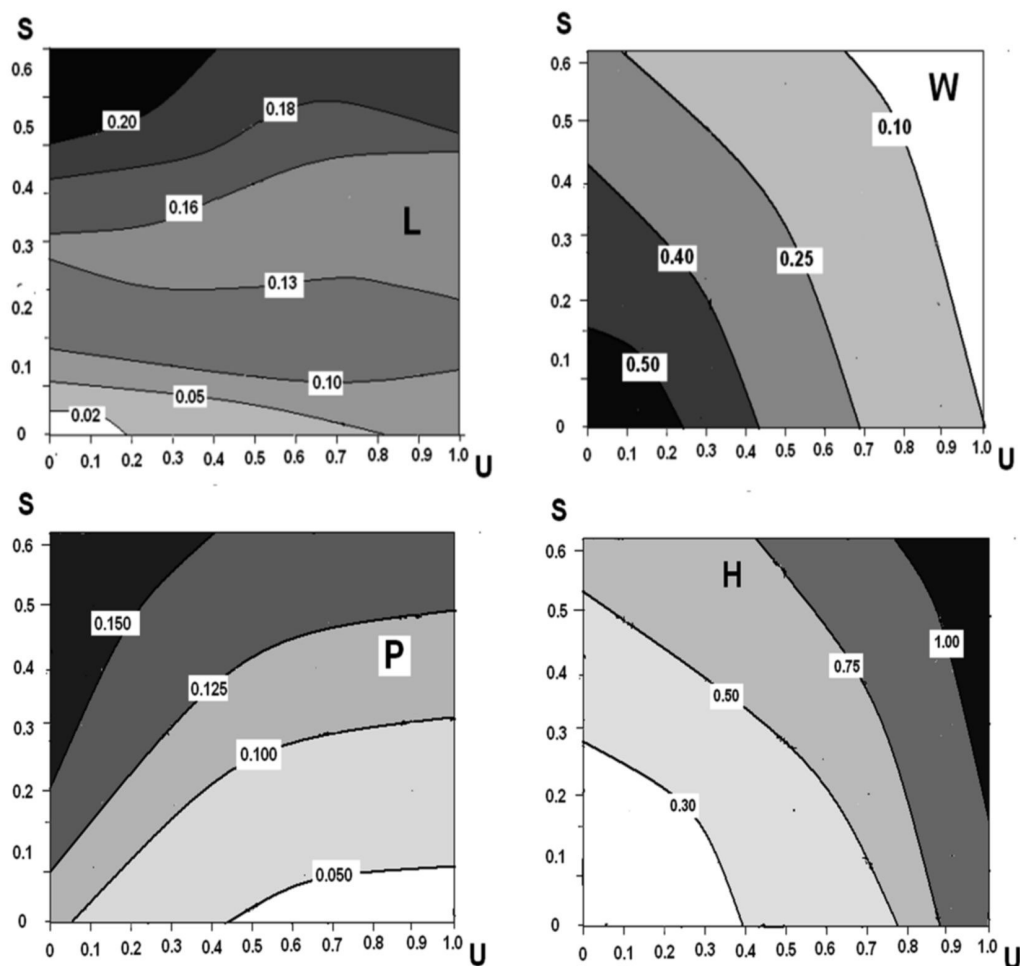
шает его, но очистка среды требует дополнительных затрат, – рассматриваемая зависимость имеет сложный характер (рис. 3L). Высокий уровень развития безотходных технологий позволяет снизить затраты на очистку стоков.

В отношении уровня загрязнения окружающей среды (рис. 3W) рекомендации могут быть более определенными – развитие природоохранных мероприятий выгодно сочетать с технологическим прогрессом.

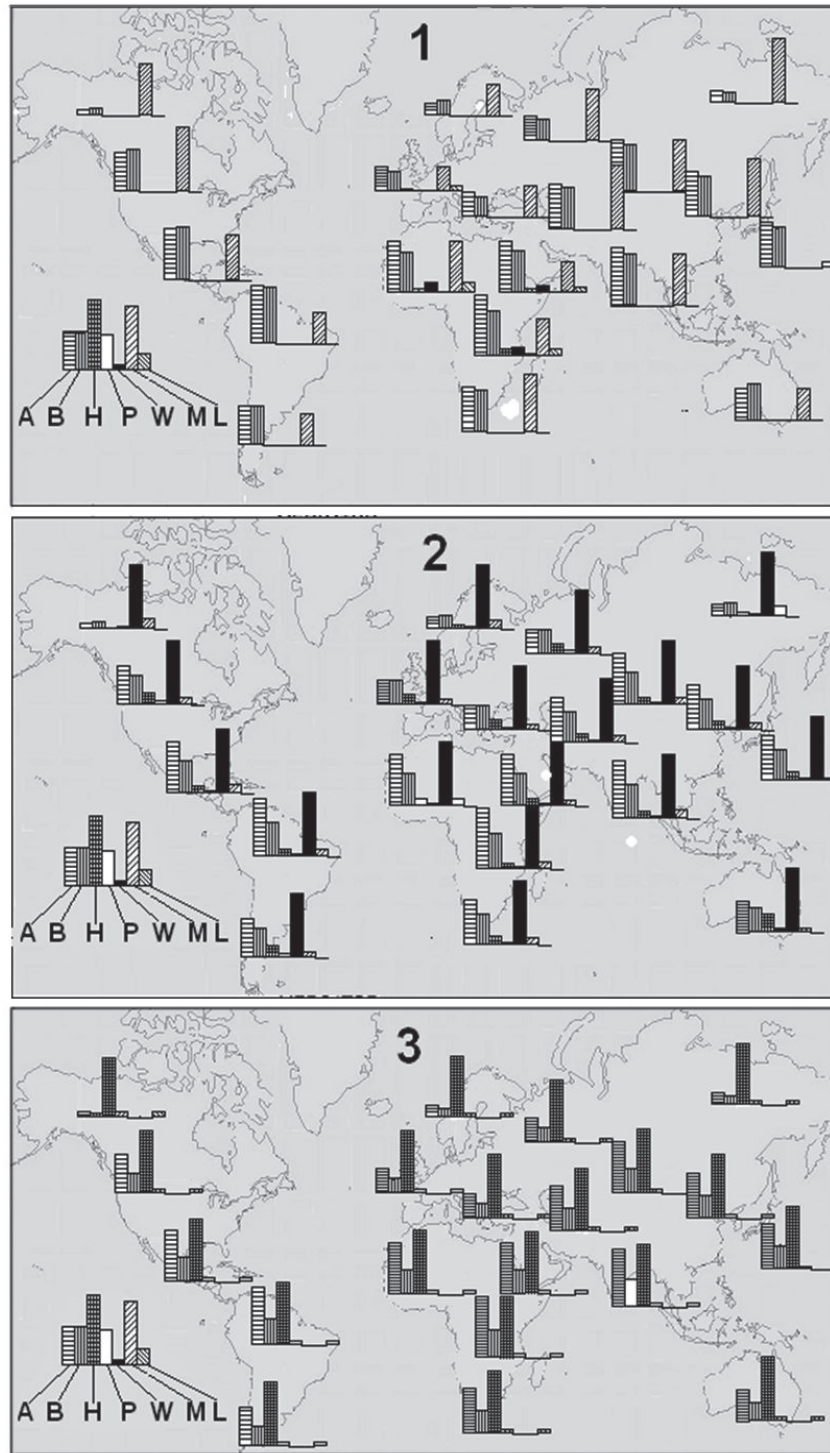
Ускорение развития промышленного производства ( $P$ ) может быть достигнуто за счет свертывания природоохранной деятельности (рис. 3P), но такой путь вряд ли может быть рекомендован из-за снижения уровня жизни населения в этом случае.

Еще один интересный и важный вывод из исследования модели заключается в том, что на рост численности населения (рис. 3H) сильнее влияет развитие природоохранных мероприятий ( $U$ ), чем научно-технический прогресс ( $S$ ).

Рассмотренные выше особенности моделируемой системы касались «упрощенной» антропосферы, то есть такой системы, которая характеризуется только набором средних значений биомасс, численности населения, развития промышленности и технического прогресса. Однако очевидно, что существуют большие различия не только в природных характеристиках, но и в свойствах человеческих сообществ, находящихся в разных частях антропосферы, условно разбитой на регионы-ячейки. В этом контексте интересно проследить развитие цивилизации, начиная с гипотетического момента появления человека на Земле несколько десятков миллионов лет назад. Будем предполагать, исходя из существующих на сегодня гипотез о родине предков человека, что произошло это в Центральной Африке – ячейка 19 на рис. 1. Во всех остальных ячейках людских поселений в это время не было (население  $H(i, 1) = 0$ , промышленность  $P(i, 1) = 0$  и, соответственно, загрязнение  $W(i, 1) = 0$ ).



**Рис. 3.** Зависимость уровня жизни населения (L), загрязнения окружающей среды (W), развития промышленности (P) и численности населения (H) от стратегии природопользования (U) и научно-технического прогресса (S)



**Рис. 4.** Распределение характеристик системы антропосферы при различных стратегиях освоения планеты (расположение столбцов каждой из отдельных диаграмм такое же, как указано на поясняющих диаграммах с подписями слева снизу).

1 – исходное состояние; 2 – хищническое использование природных ресурсов планеты без каких-либо природоохранных действий; 3 – природоохранная идеология, очистка природной среды от антропогенных загрязнений, восстановление нарушенной естественной среды и круговоротов.

A – климат; B – биомасса; H – человеческое население; P – производство; W – загрязнение; M – запасы полезных ископаемых; L – уровень жизни населения. 1 – начальное состояние человеческой популяции; 2 – конечное установившееся состояние при стратегии  $U = 0,1$  (полное отсутствие природоохранных мероприятий); 3 – то же, но при стратегии приоритета охраны природы, когда  $U = 0,9$

Второй аргумент в функциях  $H$ ,  $P$ ,  $W$  соответствует времени. Это состояние отображено на рис. 4.1.

Не вдаваясь в интересные подробности заселения Земли человеком, которые демонстрирует модель, перейдем сразу к рассмотрению конечных состояний. Заметим, что само существование таких разных устойчивых состояний (причем не тривиальных, например, не нулевых в плане существования человечества) было не очевидным при начале работы с моделью, и это является одним из ее результатов.

На рис. 4.2 представлено конечное состояние системы, полученное в предположении, что во всех регионах Земли и во все времена люди относились к охране природы пренебрежительно ( $U = 0,1$ ). При таком предположении во всех без исключения ячейках отмечается предельно высокое загрязнение среды ( $W = 1$ ). Это соответствует низкому уровню жизни населения, при котором его численность хотя и не высока, но все же не нулевая. Запасы полезных ископаемых оказываются в итоге полностью исчерпанными.

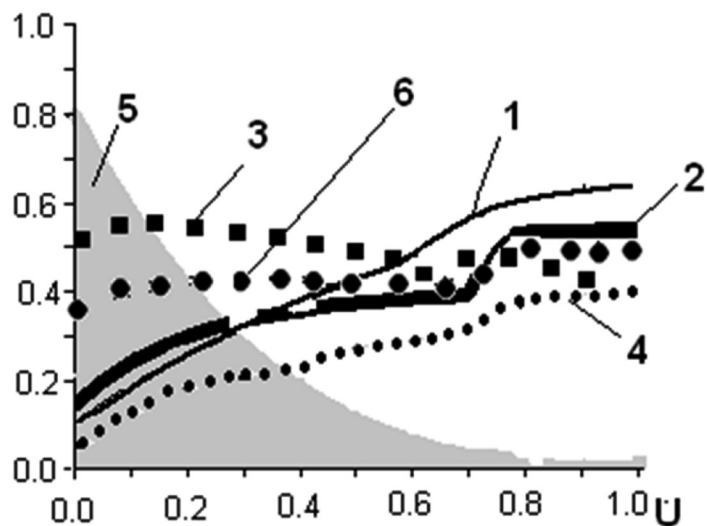
Другая картина наблюдается при использовании диаметрально противоположной стратегии природопользования (рис. 4.3). Эта стратегия предусматривает максимально возможную очистку среды от загрязнений, даже иногда в ущерб развитию производства и уровню жизни населения ( $U = 0,9$ ). В результате численность населения Земли значительно возрастает даже в регионах с неблагоприятными климатическими условиями. Однако при этом существенно снижается биомасса экологических систем, а уровень жизни

населения также остается не высоким. Развитие промышленного производства оказывается весьма низким на фоне высокой численности населения.

Возвращаясь к глобальным характеристикам исследуемой системы, предположим теперь, что во всех регионах антропосферы (ячейках) правительства начали придерживаться одинаковой стратегии природопользования ( $U$ ).

В этом случае уровень научно-технического прогресса ( $S$ ) не является независимым параметром для каждого региона, а определяется как единая величина для всей системы антропосферы, что является интерпретацией принципа глобализации. Результаты таких компьютерных экспериментов для этого случая приведены на рис. 5. Повсеместное пренебрежение к проблемам охраны природы ( $U = 0$ ) приводит к сильному загрязнению среды (заливка 5 на рис. 5), следствием чего является угнетенное состояние животных и растительных сообществ, низкие численности населения и невысокий уровень его жизни (левые части графиков на рис. 5).

Переход к интенсификации природоохранных мероприятий (рис. 5, правая часть) ведет не только к сокращению загрязнения среды, но и в пределе к полной ее очистке ( $W = 0$ ). Этот прогресс сопровождается ростом численности населения и его уровня жизни ( $L$ ). Однако заметного роста промышленного производства ( $P$ ) при этом не отмечается, что, в частности, связано с увеличением затрат на очистку от загрязнений и на внедрение безотходных технологий.



**Рис. 5.** Изменения глобальных характеристик всей системы при изменении стратегии природопользования ( $U$ ). По вертикали – условные единицы для концептов, по горизонтали – значения  $U$ .

1 – биомасса экосистем ( $B$ ); 2 – численность населения ( $H$ ); 3 – уровень развития промышленности ( $P$ ); 4 – уровень жизни населения ( $L$ ); заливка 5 – загрязнение среды ( $W$ ); 6 – уровень научно-технического прогресса ( $S$ )

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При интерпретации результатов исследования разработанной модели следует принимать специфику когнитивного моделирования. Концепты далеко не тождественны переменным классических моделей, они отражают образность правополушарного типа мышления человека [18]. Результаты исследования когнитивной модели применимы при создании систем поддержки принятия решения, но не для инженерного расчета с указанием точности результатов. Фактически, при когнитивном моделировании оперируют представлениями типа «немного меньше» или «существенно выше» для некоторых выбранных исследователем (зачастую интуитивно) переменных, выраженных в условных единицах. Данный метод не предназначен для работы с числовыми именованными величинами, например, «миллиарды долларов», «миллионы тонн промышленных отходов» и т. п. По этой причине не имеет смысла использование совершенных математических методов для поиска оптимальной стратегии природопользования на базе когнитивных моделей и, в частности, на базе предложенной модели.

Несмотря на приведенные выше ограничения, когнитивный подход имеет то преимущество, что он позволяет соединить в одной модели такие, напри-

мер, разноречивые показатели, как «уровень жизни», «ментальность населения», «валовой внутренний продукт», «первичная продукция», «турбулентное перемешивание», «колебания климата» и многие другие [16]. За широту охвата проблемы приходится расплачиваться размытостью полученных результатов.

Возвращаясь к объекту моделирования – взаимодействию человеческого общества с биосферой Земли, следует отметить, что когнитивное моделирование принципиально не может заменить классического подхода, о котором уже говорилось во введении. В то же время результаты исследования когнитивных моделей могут помочь правильно расставить акценты, задать нужный контекст при планировании широкомасштабного моделирования социо-эколого-экономических процессов. Наряду с моделированием климата, динамики водных и сухопутных систем, демографии и экономики человеческого общества, на первый план выходит и моделирование самого человека, его социального поведения, этики и мировоззрения. Без понимания всего этого невозможна выработка оптимальной стратегии природопользования (концепт  $U$ ), обеспечивающая будущее человечества [15]. Но это уже выходит за рамки возможностей когнитивного моделирования и относится скорее к агент-ориентированному методу построения моделей [14].

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Альбертин СВ. Когнитивное моделирование как способ научного познания и творчества. Гуманистические научные исследования. 2016; (8). <http://human.snauka.ru/2016/08/16289>.
2. Бодрунов СД. Ноономика. М.: Культурная революция; 2018.
3. Гинзбург АС. Планета Земля в постядерную эпоху. М.: Наука; 1988.
4. Глушак НВ, Глушак ОВ. Когнитивная модель экономических взаимодействий инновационно-инвестиционного процесса высокотехнологической сферы. Вестник Брянского гос. ун-та. Экономические науки. 2018;(1):199-207.
5. Горшков ВГ, Кондратьев КЯ, Лосев КС. Два пути развития: проблема выбора. Теоретические проблемы экологии и эволюции (вторые Люблинские чтения). Тольятти; 1995. с. 192-7.
6. Гузинаров МБ, Ильясов БГ, Вакиева ЕШ, Герасимова ИБ. Когнитивная модель формирования показателя уровня жизни. Вестник УГАТУ. 2013;17(2):216-26.
7. Гумилев ЛН. Этногенез и биосфера Земли. Л.: Гидрометеиздат; 1990.
8. Дрогушева АК. Возможности когнитивного моделирования в управлении региональным потенциалом. Новая наука: современное состояние и пути развития. 2016;(4-1):109-13.
9. Казанский АБ. Феномен Геи Джеймса Лавлока. Экогеософский альманах. 2000;(2):4-21.
10. Ключников ВЮ, Канаева ЕН. Когнитивная модель экологических последствий деятельности космодрома. Двойные технологии. 2014(3):14-8.
11. Курзев ВА, Матвеев ВД. Экономический рост. СПб.: Питер; 2018.
12. Левин ВИ. Бесконечнозначная логика в задачах кибернетики. М.: Радио и Связь; 1987.
13. Левченко ВФ. Биосфера: этапы жизни (эволюция частей и целого). СПб.: Свое издательство; 2012.
14. Макаров В, Бахтизин АР. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированный подход). М.: Экономика; 2013.
15. Меншуткин ВВ, Левченко ВФ. Основанная на вероятностных клеточных автоматах модель эволюции антропосферы. Биосфера. 2017;9:275-85.

16. Меншуткин ВВ, Минина ТР. Когнитивная модель взаимодействия человеческого общества с экологической системой водоема. Региональная экономика и развитие территорий. 2017;1(11):160-7.
17. Меншуткин ВВ, Филатов НН, Дружинин ПВ. Состояние и прогнозирование социо-эколого-экономической системы водосбора Белого моря с использованием когнитивного моделирования. Арктика – экология и экономика. 2018;(2):4-17.
18. Миллер Дж. Когнитивная революция с исторической точки зрения. Вопросы психологии. 2005;(6):104-9.
19. Моисеев НН, Александров ВВ, Тарко АМ. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. М.: Наука; 1985.
20. Носов КГ. Когнитивный подход к решению задач моделирования и построению САПР. Прикладная математика и вопросы управления. 2015;(1):73-84.
21. Печуркин НС. Энергетические аспекты развития надорганизменных систем. Новосибирск: Наука; 1982.
22. Сергеев ЮН и Кулеш ВП. Проблемы циклического и стационарного развития цивилизации в глобальных моделях. Биосфера. 2017;(9):13-47.
23. Форрестер Дж. Мировая динамика. М.: Наука; 1978.
24. Яблоков АВ, Левченко ВФ, Керженцев АС. Преодолимы ли трудности перехода антропосферы в ноосферу. Биосфера. 2016;8:247-57.
25. Яблоков АВ, Левченко ВФ, Керженцев АС. Очерки биосферологии. СПб.: Свое издательство; 2018.
6. Guzinarov MB, Il'yasov BG, Vakieva ESh, Gerasimova IB. [Cognitive model of formation of living standards indicator]. Vestnik UGATU. 2013;17:216-26. (In Russ.)
7. Gumilev LN. Etnogenez i Biosfera Zemli. [Ethnogenesis and the Biosphere of the Earth]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1990. (In Russ.)
8. Drogusheva AK. [Possibilities of cognitive modeling in the management of regional potential]. Novaya Nauka Sovremennoe Sostoyanie i Puti Razvitiya. 2016;(4-1):109-13. (In Russ.)
9. Kazansky AB. [The Phenomenon of Gaia of James Lovelock]. Ekogeosofskiy Almanakh. 2000;(2):4-21. (In Russ.)
10. Klyushnikov VYu, Kanayeva EN. [Cognitive model of the environmental consequences of spaceport activity]. Dvoynye Tekhnologii. 2014(3):14-8. (In Russ.)
11. Kurzenev VA, Matveenko VD. [Economic growth]. Saint Petersburg: Piter Press; 2018. (In Russ.)
12. Levin VI. Beskonechnosviyaznaya Logika v Zadachakh Kibernetiki. [Infinite-Valued Logic in Cybernetics Problems]. Moscow: Radio i Svyaz'. 1987. (In Russ.)
13. Levchenko VF. Biosfera: Etapy Zhizni (Evolutsiya Chastey i Tselogo). [Biosphere: the Stages of Life (Evolution of the Parts and the Whole)]. Saint Petersburg: Svoye Izdatel'stvo; 2012. (In Russ.)
14. Makarov V, Bakhtizin AR. Sotsialnoye Modelirovaniye – Novyi Kompyuternyi Proryv (Agent-Oriyentirovannyi Podkhod). [Social Modeling – New Computer Breakthrough (Agent-Based Approach)]. Moscow: Ekonomika; 2013. (In Russ.)
15. Menshutkin VV, Levchenko VF. [A stochastic cellular automata-based model of evolution of the anthroposphere]. Biosfera. 2017;9(4):275-85. (In Russ.)
16. Menshutkin VV, Minina TR. [Cognitive model of the interaction of human society with the ecological system of the pond]. Regional'naya Ekonomika i Razvitie Territoriy. 2017;1(11):160-7. (In Russ.)
17. Menshutkin VV, Filatov NN, Druzhinin PV. [Status and forecasting of the socio-ecological-economic system of the White Sea watershed using cognitive modeling]. Arktika Ekologiya i Ekonomika. 2018;(2):4-17. (In Russ.)
18. Miller J. [Cognitive revolution from the historical point of view]. Voprosy Psikhologii. 2005;(6): 104-9. (In Russ.)
19. Moiseev NN, Aleksandrov VV, Tarko AM. Chelovek i Biosfera Jpyt Sistemnogo Analiza (Vtorye Lyubishchevskie Chteniya). Togliatti; 1995. P. 192-7. (In Russ.)

#### Общий список литературы/Reference List

1. Al'bertin SV. [Cognitive modeling as a way of scientific knowledge and creativity]. Gumanisticheskiye Nauchnye Issledovaniya. 2016; (8). <http://human.snauka.ru/2016/08/16289>. (In Russ.)
2. Bodrunov SD. [Noonomics]. Moscow: Kul'turnaya Revolyutsiya; 2018. (In Russ.)
3. Ginzburg AS. Planeta Zemlia v Posleyadernuyu Epokhu. [Planet Earth in the Post-Nuclear Era]. Moscow: Nauka; 1988. (In Russ.)
4. Glushak NV, Glushak OV. [Cognitive model of economic interactions in a high-tech innovation-investment process]. Vestnik Bryanskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Ekonomicheskiye Nauki. 2018;(1):199-207. (In Russ.)
5. Gorshkov VG, Kondrat'ev KYa, Losev KS. [Two ways of development: the problem of choice]. In: Teoreticheskie Problemy Ekologii i Evolyutsii



- i Eksperimenty s Modeliami. [Man and the biosphere. System analysis experience and model experiments]. Moscow: Nauka; 1985. (In Russ.)
20. Nosov KG. [Cognitive approach to solving modeling problems and building CAD systems]. *Prikladnaya Matematika i Voprosy Upravleniya*. 2015;(1):73-84. (In Russ.)
  21. Pechurkin NS. *Energeticheskiye Aspekty Razvitiya Nadorganizmennykh Sistem*. [Energy Aspects of the Development of Supraorganismal Systems]. Novosibirsk: Nauka; 1982. (In Russ.)
  22. Sergeev YuN, Kulesh VP. [Cyclic and stationary modes of the development of civilization in global models]. *Biosfera*. 2017;9:13-47. (In Russ.)
  23. Forrester J. *Mirovaya Dinamika*. [World Dynamics]. Moscow: Nauka; 1978. (In Russ.)
  24. Yablokov AV, Levchenko VF, Kerzhentsev AS. [Is it possible to surpass obstacles in the way from anthroposphere to noosphere]. *Biosfera*. 2016;(8)3:247-57. (In Russ.)
  25. Yablokov AV, Levchenko VF, Kerzhentsev AS. *Ocherki Biosferologii*. [Essays on Biospherology]. Saint Petersburg: Svoye Izdatel'stvo; 2018. (In Russ.)
  26. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *Int J Man-Machine Studies*. 1986;(24):65-75.
  27. Kosko B. *Fuzzy Thinking*. NY: Hyperion; 1993.
  28. Lakoff G. *Women, fire and dangerous things*. Chicago Univ. Press; 1987.
  29. Meadows DL, Meadows DH. *Dynamics of Growth in a Finite World*. Cambridge: Mass. Wright Allen Press Inc.; 1974.
  30. Norman M, Baumeister J. A rule-based vs. model-based implementation of knowledge system LIMPACT and its maintenance and discovery the ecological knowledge. *Modeling in freshwater ecosystem*. Berlin; 1999.
  31. Wang YP, Law RM, Pak B. A Global model of carbon, nitrogen and phosphorus cycles for terrestrial biosphere. *Biogeoscience*. 2010;7:2261-81.



# ПОИСК ОСТАТОЧНЫХ ВЕЩЕСТВ ПЕСТИЦИДОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ – ПУТЬ К БЕЗОПАСНОМУ ПРОДОВОЛЬСТВУ

**М.О. Петрова, Т.Д. Черменская**

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

Эл. почта: [mar34915696@yandex.ru](mailto:mar34915696@yandex.ru); [tchermenskaya@yandex.ru](mailto:tchermenskaya@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 10.04.2019; принята к печати 07.05.2019

Обеспечение безопасности и качества сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов является одной из основных задач современного общества. Ни одно сельскохозяйственное предприятие не обходится без использования пестицидов, способствующих получению высоких и стабильных урожаев. Государственная регистрация пестицидов и агрохимикатов в Российской Федерации – это обязательная процедура, которая призвана не пропустить на рынок РФ некачественную или не соответствующую принятым нормам сельскохозяйственную продукцию. В обзоре рассмотрены действующие в Российской Федерации нормативные акты по этому вопросу и методические подходы к анализу пестицидов – как классические, так и последние разработки, включая осуществленные во Всероссийском институте защиты растений (ВИЗР).

*Ключевые слова:* пестициды, сельскохозяйственные культуры, аналитические методы.

## CHECKING AGRICULTURAL PRODUCE FOR RESIDUAL PESTICIDE AS A PREREQUISITE OF FOOD SAFETY

**M.O. Petrova, T.D. Chermenskaya**

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

Email: [mar34915696@yandex.ru](mailto:mar34915696@yandex.ru); [tchermenskaya@yandex.ru](mailto:tchermenskaya@yandex.ru)

Securing safety and quality of agricultural produce and foods is among the principal public responsibilities. No agricultural facilities can do without using pesticides, which help to make crops ample and stable. State registration of pesticides and agrochemical means, which is obligatory in the Russian Federation, prevents low quality and unsafe products from entering the food market. In the present paper, the related regulations and methodological approaches are reviewed, including the latest developments, in particular those attributed to All-Russian Research institute of Plant Protection.

*Keywords:* pesticides, agricultural crops, analytical methods.

### Введение

Пестициды (от лат. *pestis* – зараза и *caedo* – убиваю) – химические средства для борьбы с вредоносными или нежелательными микроорганизмами, растениями и животными.

Пестициды используют повсеместно, ни одно сельскохозяйственное предприятие без них не обходится, так как применение пестицидов способствует получению высоких и стабильных урожаев. При всей своей эффективности в борьбе за здоровые растения и сохранность урожая необходимо помнить, что пестициды могут быть опасны для теплокровных и человека. Еще в 1950-е гг. появились многочисленные данные, свидетельствующие об их опасности для человека при употреблении продуктов питания с остаточными количествами пестицидов.

Ухудшение экологической ситуации по всему миру, связанное с деятельностью человека, повлияло и на состав потребляемой пищи. С продуктами питания в организм человека поступает большое количество не всегда полезных химических и биологических веществ. Они попадают и накапливаются по ходу биологической цепи, обеспечивающей обмен веществ как между живыми организмами, с одной стороны, и воздухом, водой и почвой – с другой, так и в пищевой цепи, включающей все этапы сельскохозяйственного и промышленного производства продовольственного сырья и пищевых продуктов, а также их хранение, упаковку и маркировку [8]. В связи с этим обеспечение безопасности и качества сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов является одной из основных задач современного человеческого общества,

определяющих здоровье населения и сохранение его генофонда. Безопасными для здоровья потребителя принято считать продукты, которые или не содержат токсических веществ, представляющих опасность для здоровья людей нынешнего и будущего поколений, или содержат их в количествах, допустимых санитарными нормами и гигиеническими нормативами<sup>1</sup>.

### Нормативная база

Для того чтобы обезопасить себя от нежелательных проблем с законом и четко регламентировать использование агрохимикатов, необходимо получение специальной регистрации препаратов в Министерстве сельского хозяйства РФ. Это гарантия безопасности использования пестицидов, удобрений, стимуляторов роста для здоровья людей и для окружающей среды. Каждый год происходит обновление Каталога пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, который является официальным документом, содержит перечень пестицидов (Часть 1) и агрохимикатов (Часть 2), разрешенных для применения гражданами и юридическими лицами в сельском, лесном, коммунальном и личном подсобном хозяйствах, а также основные регламенты применения пестицидов, установленные в ходе их регистрационных испытаний<sup>2</sup>.

Государственная регистрация пестицидов и агрохимикатов в России – это обязательная процедура, которая призвана не пропустить на рынок РФ некачественную или не соответствующую принятым нормам сельскохозяйственную продукцию.

Очередной вехой в развитии системы государственной регистрации средств защиты растений стало принятие Положения о регистрационных испытаниях и регистрации пестицидов в Российской Федерации (1995). Положение было утверждено Пленумом Госхимкомиссии и согласовано с заместителем Главного государственного санитарного врача Российской Федерации. Этот документ установил положения, касающиеся регистрационных испытаний и регистрации пестицидов в РФ, регламентировал порядок их осуществления, объем и характер необходимой информации, уточнил термины и определения, определил почвенно-климатические зоны страны и перечень институтов системы регистрационных испытаний. В 1997 г. был принят Федеральный закон № 109-ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами», который впервые установил правовые основы обеспечения безопасного обраще-

ния с пестицидами, в том числе с их действующими веществами, в целях охраны здоровья людей и окружающей природной среды. В статье закона, посвященной регистрационным испытаниям пестицидов, указано, что испытания проводятся для определения эффективности средств защиты растений и разработки регламентов их применения. В 2007 г. в связи с совершенствованием структуры федеральных органов исполнительной власти и упорядочением системы регистрационных испытаний и регистрации пестицидов МСХ РФ был издан приказ № 357 «Об утверждении Порядка государственной регистрации пестицидов и агрохимикатов», где давались общие положения, организация и проведение регистрационных испытаний, государственная регистрация и перечень документов и материалов, необходимых для регистрации [3].

Как в нашей стране, так и во всем мире регистрация и разрешение на использование пестицидов для защиты сельскохозяйственных культур невозможны без наличия методов анализа их микроколичеств в объектах окружающей среды и растительном материале. Наблюдение за динамикой разложения пестицидов в растениях и определение их остаточных количеств в урожае сельскохозяйственных культур является неотъемлемой частью регистрационных испытаний. Под остаточными количествами пестицидов понимают действующее начало пестицидного препарата или продукты его превращения, обнаруживаемые в исследуемом материале. В качестве норматива допустимых концентраций остаточных количеств пестицидов в продуктах питания принимается такое их количество, которое, поступая в организм человека ежедневно, не наносит ущерба его здоровью. Нормы допустимых остаточных количеств для каждого устанавливаются отдельно. Некоторые пестициды не должны присутствовать в пищевых продуктах. Не допускается присутствие многих пестицидов в молоке, мясе, масле, яйцах. Остаточные количества пестицидов в продуктах питания в нашей стране в ряде случаев ниже, чем в других странах.

Определение остаточных количеств пестицидов в продуктах питания осуществляется в том случае, если органолептические характеристики их не изменены или изменения слабо выражены. В другом случае продукт непригоден к использованию и химические исследования излишни.

Величина остаточных количеств пестицидов в продуктах зависит от ряда условий: свойств пестицида, формы и концентрации примененного препарата, нормы расхода его, кратности и времени последней обработки до снятия урожая, вида культуры, характера почвы, на которой она произрастает, и др.

Результаты химических исследований пищевых продуктов позволяют решить следующие вопросы.

<sup>1</sup> Гигиенические нормативы ГН 1.2.3539-18. «Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень)»; 2018.

<sup>2</sup> Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Часть 1. Пестициды. М.; 2019.

1. Оценить, насколько соблюдены регламенты применения пестицидов при обработке сельскохозяйственных культур.

2. Решить вопрос о возможности употребления и порядке реализации продуктов, загрязненных пестицидами. Определение остаточных количеств пестицидов в растительных продуктах производится в состоянии их товарной зрелости и в падалице плодов. В тех случаях, когда пищевой продукт используется в питании не только в сыром виде, но и после обработки, химические исследования следует проводить в сырье и готовой продукции. Особое внимание должно уделяться подготовке проб пищевых продуктов к анализу.

В тех случаях, когда неизвестно, влиянию какого пестицида подвергался исследуемый продукт, что значительно усложняет лабораторные исследования, химик-аналитик должен предположить, какие пестициды могут быть в данном продукте, учитывая ассортимент применяемых химических веществ для работ той или иной культуры.

### Аналитическая база

С учетом высокой токсичности пестицидов для контроля необходимы специфические и чувствительные аналитические методы, позволяющие определять остатки пестицидов и их метаболитов на следовом уровне. Значительные сложности также связаны с тем, что анализируемые действующие вещества препаратов необходимо отделять от примесей, которые присутствуют в больших количествах и затрудняют определение.

Для определения пестицидов используются фотометрический, спектрофотометрический, полярографический и другие методы. Качественное и количественное определение остаточных количеств пестицидов преимущественно осуществляют с помощью хроматографических методов: газовая хроматография (ГХ), включая капиллярную газо-жидкостную хроматографию (КГЖХ), высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) и хромато-масс-спектрометрия (ГХ/МС, ЖХ/МС).

Хроматографические методы анализа обладают высокой чувствительностью и позволяют различать родственные соединения и их метаболиты или продукты гидролиза. При помощи этих методов анализа можно с высокой точностью определять остаточные количества пестицидов в исследуемых пробах. Они позволяют разделять многокомпонентные смеси и быстро и точно устанавливать наличие тех или иных пестицидов. Эти методы применяются для обнаружения широкого круга соединений в воздухе, воде, почве, растительном сырье и пищевых продуктах.

Достоверность результатов анализов зависит не только от применения надежных аналитических ме-

тодов, но также и от опыта работы химика-аналитика и соблюдения «надлежащей лабораторной практики, касающейся анализов пестицидов».

Определенные нормы и требования к оборудованию, персоналу, обеспечению контроля качества результатов анализа, управлению документацией и прочему являются необходимыми условиями для получения достоверных и прослеживаемых результатов анализа. Соответствующие критерии изложены в ГОСТ 17025-2009 и в серии методических документов по надлежащей лабораторной практике в соответствии с национальными законами и регулированием.

Для определения остаточных количеств пестицидов в пищевых продуктах и других объектах окружающей среды используются методы, рекомендованные Министерством здравоохранения<sup>3</sup>.

Методы определения действующих веществ пестицидов должны иметь высокий процент извлечения аналита из различных природных матриц и объектов окружающей среды, обеспечивать хорошее разделение анализируемых и коэкстрактивных веществ, достоверно идентифицировать искомое соединение, иметь низкий предел обнаружения, быть оптимальными по стоимости, обеспечивать необходимые показатели точности, повторяемости и воспроизводимости результатов исследований.

Анализ остаточных содержаний состоит из последовательности процедур, большинство из которых известны или полностью понятны квалифицированному химику-аналитику, но поскольку концентрации анализируемого вещества находятся в пределах от мкг/кг до мг/кг, анализы могут быть сложными, и необходимо внимание к деталям<sup>4</sup>.

Как и несколько десятилетий назад, общая схема анализа на содержание микроколичеств пестицидов состоит из нескольких этапов:

- извлечение вещества из исследуемой пробы;
- очистка экстракта;
- качественное обнаружение и количественное

определение аналита [7].

На первом этапе наиболее распространенным способом извлечения действующих веществ пестицидов является экстракция органическими растворителями. При этом подбор экстрагента непосредственно зависит от физико-химических свойств пестицида и субстрата, в котором он находится. В идеале экстрагент должен обеспечивать максимальное извлечение вещества с минимальным извлечением примесей. При удалении растворителя необходимо обращать внимание на температуру и продолжительность нагрева, чтобы

<sup>3</sup> Информационный указатель нормативных и методических документов Роспотребнадзора (ИУН); 2(94). М.: ФБУЗ ЦЦГиЭ Роспотребнадзора; 2018.

<sup>4</sup> Кодекс Алиментариус. Остаточные содержания пестицидов в пищевых продуктах. Методы. Пер. с англ. М.: Весь Мир; 2007.

предотвратить термическое разложение и улетучивание изучаемого вещества.

Все эти нюансы приводят к поиску способов экстракции, при которых уменьшается количество органических растворителей и число операций с полученным экстрактом.

Недавно в аналитической химии пестицидов стали использовать твердофазную экстракцию (ТФЭ), которая позволяет объединить отбор проб с концентрированием. Для экстракции используют неполярные и малополярные органические растворители, концентрирующие пестициды на молекулярных сорбентах [13]. Использование готовых патронов для ТФЭ значительно упрощает процедуру подготовки проб к анализу по сравнению с традиционными способами.

На этапе очистки полученного экстракта могут применяться разные подходы, обусловленные характером искомого соединения. Это может быть получение производных, распределение между двумя несмешиваемыми жидкостями, осаждение примесей, очистка на сорбентах, таких как активированный уголь, окис алюминия, силикагель, флоризил и др.

Начиналось все с тонкослойной хроматографии (ТСХ), но постепенно актуальность этого метода в связи с низкой чувствительностью и детерминированностью, а также развитием более современных хроматографических методов сошла на нет. Но вплоть до 90-х годов XX века разрабатывались методы определения пестицидов с использованием ТСХ<sup>5,6</sup>.

Газовую хроматографию используют для разделения летучих, термостабильных соединений. Такими свойствами обладают около 5% известных органических соединений, но именно они оставляют от 70 до 80% соединений, используемых человеком. Подвижной фазой служит инертный газ (газ-носитель), протекающий через неподвижную фазу с большой площадью поверхности. В качестве газа-носителя используются водород, гелий, азот, аргон и углекислый газ. Наиболее часто используют азот как более доступный и дешевый и безопасный. Газ-носитель обеспечивает распределение компонентов по хроматографической колонке и не взаимодействует ни с разделяемыми веществами, ни с неподвижной фазой [17, с. 11–56]. Большое число пестицидов не обладают летучестью и достаточной термостабильностью, поэтому не могут определяться непосредственно. Для того чтобы сделать возможным определение этих соедине-

ний с помощью ГХ, их дериватизируют, превращая в производные. Такая операция обычно повышает летучесть и уменьшает адсорбцию хроматографируемых соединений на твердых носителях, увеличивает их термостойкость и улучшает разделение. В некоторых случаях при этом достигается также и значительное увеличение чувствительности детектирования полученных производных.

Если такая операция невозможна, а также для снижения трудоемкости используют высокоэффективную жидкостную хроматографию. В этом методе разделения и анализа сложных смесей веществ подвижной фазой является жидкость. Подвижная фаза в жидкостной хроматографии выполняет двойную функцию: 1) обеспечивает перенос десорбированных молекул по колонке (подобно подвижной фазе в газовой хроматографии); 2) обеспечивает удерживание в результате взаимодействия с неподвижной фазой (сорбция на поверхности) и с молекулами разделяемых веществ. За счет комбинации нескольких типов сорбентов и различных по составу подвижных фаз метод ВЭЖХ находит применение для разделения значительно большего числа веществ, чем газовая хроматография, и с каждым годом получает все более широкое распространение [17, с. 57–96].

Рост количества пестицидов с известными действующими веществами и появление новых соединений приводит к значительному увеличению объема аналитических работ, который требует ускорения и удешевления всех процессов.

Новым подходом в пробоподготовке при анализе пестицидных остатков стал метод, получивший название QuEChERS – быстрый (Quick), легкий (Easy), дешевый (Cheap), эффективный (Efficient), надежный (Reliable) и безопасный (Safe) [18]. В этом методе для каждой стадии классической процедуры пробоподготовки была найдена более простая альтернатива: вместо фильтрования – центрифугирование, а вместо ТФЭ на патронах – дисперсионная ТФЭ. Таким образом, в одной емкости происходит экстракция и распределение, а во второй – очистка сорбентом. Многие фирмы стали выпускать наборы реактивов и посуды, с помощью которых можно подготовить к измерению 8 проб за 30 минут [6]. С помощью готовых наборов удалось разработать метод определения остаточных количеств пиридата и его метаболита пиридафол в зерне и масле кукурузы с использованием ВЭЖХ-МС [4], определения массовой концентрации тиофанат-метила и карбендазима в зеленой массе, семенах и масле подсолнечника [5] и т. д. Но, к сожалению, использование QuEChERS применимо не ко всем пестицидам и матрицам, в которых их обнаруживают. Так, например, при разработке метода определения аметоктрадина в растительных остатках и объектах окружающей среды методом ВЭЖХ-УФ

<sup>5</sup> ВМУ 6106-91. Временные методические указания по определению глүфосинат аммония (баста) в воде и растительных культурах методом тонкослойной хроматографии. Методические указания. Сборник № 22. Часть 1. М.; 1994. С. 24–32.

<sup>6</sup> ВМУ 3253-85. Временные методические указания по определению лентраграна в кукурузе, почве и воде методом тонкослойной хроматографии. Методические указания. Часть 17. М.; 1988. С. 136–141.

QuEChERS подошел для выделения аналита из почвы, но без использования дисперсионной ТФЭ, а для работы с растительными матрицами пришлось обратиться к классическим методам экстракции и очистки, так как не удалось достичь степени извлечения более 70% [9].

Значительную привлекательность приобретают методы, позволяющие выделять и анализировать большое количество пестицидов. Так можно не только сократить время анализа и расход реактивов, но и проводить анализ пестицидов вместе с их метаболитами и легко адаптировать эти методики к новым матрицам и к новым соединениям. Так, например, методика определения множественных остатков позволяет выявить в пробе питьевой воды хлорорганические пестициды<sup>7</sup> или азот- и фосфорорганические пестициды<sup>8</sup>. Методика определения множественных остатков МУК 4.1.3351-16 предназначена для анализа пестицидов разных классов в одной пробе фруктов или овощей<sup>9</sup>.

### Вклад ВИЗР

В рамках работы Центра биологической регламентации использования пестицидов ВИЗР сотрудниками ежегодно оценивается большой объем информации об эффективности новых препаратов и безопасности их использования, полученной в ходе полевых мелкоделяночных опытов [12].

Анализ этой информации позволяет сделать заключение о том, что совершенствование ассортимента пестицидов происходит не только в направлении повышения их эффективности. Важным направлением совершенствования является также поиск селективных и менее опасных для экологии и здоровья людей пестицидов с небольшими нормами применения, не накапливающихся в почве и грунтовых водах и безопасных для последующих культур севооборота [11].

Широкое развитие в последние годы получило создание комбинированных препаратов на основе известных действующих веществ (в том числе с учетом эффекта синергизма между компонентами). Примером комбинации двух действующих веществ из разных химических классов может служить гербицид Бомба в форме вододисперсионных гранул (ВДГ), в состав

которого входят два действующих вещества: трибенурон-метил из класса сульфонилмочевин (563 г/кг) и флорасулам из класса триазолпиримидинов (187 г/кг). Этот гербицид предназначен для уничтожения однолетних двудольных, в том числе устойчивых к 2,4-дихлорфенилуксусной кислоте и 2-метил-4-хлорфеноксипропионовой кислоте, и некоторых многолетних двудольных сорняков в посевах зерновых культур [2].

Анализ растительных образцов на содержание остаточных количеств пестицидов после обработки сельскохозяйственных культур многокомпонентными препаратами требует достаточно больших трудозатрат, так как для каждого из действующих веществ существует собственный метод определения. В связи с этим напрашивается необходимость разработки либо универсальной методики определения большого числа пестицидов разных классов в различных объектах, как, например, в МУК 4.1.3351-16, либо оптимизация существующих методов для одновременного определения компонентов препарата [14, 16].

Элементом постоянного повышения безопасности изменений в ассортименте средств защиты растений и защитных мероприятий следует считать и исследование по изучению биологической эффективности препаратов, разработке регламентов их применения и оценке содержания остаточных количеств в урожае защищаемых культур. Для реализации последнего из указанных элементов в нашей лаборатории разрабатываются методики контроля остатков действующих веществ пестицидов в сельскохозяйственной продукции и объектах окружающей среды. Только ВИЗР совместно с ООО «ИЦЗР» ежегодно представляется не менее 10 таких разработок, которые после тестирования и утверждения Роспотребнадзором РФ приобретают статус государственных, то есть могут и должны использоваться для контроля содержания пестицидов любыми аналитическими лабораториями, в задачи которых входит мониторинг окружающей среды, анализ сельскохозяйственной продукции и продуктов питания. Коллектив исполнителей имеет богатый опыт работы по решению задач, связанных с определением действующих веществ пестицидов, 20 последних лет занимаясь разработкой методик анализа пестицидов и изучением их остаточных количеств в сельскохозяйственной продукции. За последние 5 лет было разработано и опубликовано более 60 методик, которые прошли метрологическую экспертизу, внесены в Федеральный реестр методов измерений и утверждены Роспотребнадзором РФ.

В целом объемы осуществляемых научно-исследовательских работ в рамках биологических тестирований и регистрации пестицидов в последние 5 лет характеризуются показателями по инсектицидам – до 30, фунгицидам – до 75, гербицидам – до 100 и родентицидам – до 4 препаратов ежегодно [10].

<sup>7</sup> AOAC Official Method 990.06. Organochlorine Pesticides in Water. In: Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. 4th Rev. 1998; I.

<sup>8</sup> Official Methods of Analysis of AOAC International. Ed. P. Cunniff. 1 ed. AOAC International, Maryland, USA. 1999;1(10):26-31.

<sup>9</sup> МУК 4.1.3351-16. Многоостаточное определение пестицидов различной химической природы в продукции растениеводства: Методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2016.

Несмотря на существование и использование утвержденных методов определения пестицидов, в научном мире постоянно происходит обновление, усовершенствование, оптимизация этих методов. Проводятся такие работы, как правило, для сокращения времени исследования, расходов на реактивы, потерь в процессе извлечения вещества и т. д. Немаловажную роль играет и постоянное развитие методов детектирования, и увеличение чувствительности приборов. Например, удалось значительно сократить время подготовки проб к анализу за счет уменьшения количества стадий переэкстракции, исключения стадии метилирования и хорошо подобранной схемы очистки только на одном типе патрона для ТФЭ при определении остаточных количеств флорасулама в зерновых культурах [1]. Также к оптимизации может относиться

создание такого метода, где определяется несколько действующих веществ многокомпонентных препаратов, как, например, в работе, посвященной принципиальной возможности одновременного определения двух фунгицидов, аметоктрадина и диметоморфа, в одной пробе в условиях единой пробоподготовки, что может служить хорошей альтернативой ранее опубликованным методикам [15].

С учетом вышеизложенного можно утверждать, что совершенствование средств защиты растений и их ассортимента, а также поиск и регистрация остаточных веществ пестицидов в сельскохозяйственной продукции являются важными звеньями концепции повышения фитосанитарного и экологического уровня сельхозпроизводства в процессе реализации продовольственной безопасности страны.

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Алексеев ЕЮ, Черменская ТД. Оптимизация метода определения остаточных количеств флорасулама в сельскохозяйственных культурах. Вестн. защиты растений. 2018; 97(3):76-80.
2. Голубев АС, Маханькова ТА, Редюк СИ, Борушко ПИ. Совершенствование ассортимента гербицидов как элемент экологизации защиты растений. Инф. бюлл. ВПРС МОББ. 2017;(52):79-82.
3. Долженко ВИ, Новожилов КВ. Становление и развитие НИР в системе биологической регламентации и государственной регистрации новых средств защиты растений. Вестн. защиты растений. 2010;(3):16-29.
4. Долженко ВИ, Комарова АС, Человечкова ВВ, Цибульская ИА, Черменская ТД. Определение остаточных количеств пиридата и его метаболита пиридафол в зерне и масле кукурузы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (МУК 4.1.3360-16). Методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2017.
5. Долженко ВИ, Маслаков СЕ, Цибульская ИА, Павлова ВФ. Определение остаточных количеств тиофанат-метила и карбендазима в зеленой массе, семенах и масле подсолнечника методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (МУК 4.1.3361-16). Методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2017.
6. Журкович ИК, Человечкова ВВ, Луговкина НВ, Утсаль ВА, Гладилович ВД. Выбор оптимальной схемы анализа пестицидных остатков. Методические указания МР ФМБА России 12.01-15. Минздрав РФ. Федеральное медико-биологическое агентство. М.: Институт токсикологии Федерального медико-биологического агентства; 2015.
7. Клисенко МА, Лебедева ТА, Юркова ЗФ. Химический анализ микроколичеств ядохимикатов. М.: Медицина; 1972.
8. Кобелева ОВ. Пестициды в продуктах питания, произведенных на территории Хабаровского района. Ученые заметки ТОГУ. 2013;4(3):1-8.
9. Комарова АС, Черменская ТД, Человечкова ВВ. Определение аметоктрадина в растительных остатках и объектах окружающей среды методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовым детектором. Журн. аналит. хим. 2017;72(10):904-9.
10. Лаптиев АБ. Развитие защиты растений в условиях повышения продовольственной безопасности страны. Инф. бюлл. ВПРС МОББ. 2017;(52):187-90.
11. Маханькова ТА, Кириленко ЕИ, Голубев АС. Ассортимент гербицидов для зерновых культур. Защита и карантин растений. 2011;(3):16-8.
12. Маханькова ТА, Петунова АА, Голубев АС, Кириленко ЕИ, Редюк СИ, Чернуха ВГ, Борушко ПИ, Сулова ЛБ, Бурлакова ЮБ, Кожемякова ЕИ. Современный ассортимент средств защиты растений (гербициды на посевах тех-

- нических, овощных, масличных, прядильных культур, в садах, на паровых полях и землях несельскохозяйственного назначения). СПб.: ВИЗР; 2011.
13. Остроухова ОК, Долженко ВИ, Зенкевич ИГ. Использование твердофазной экстракции и микроэкстракции в анализе пестицидов. *Агрохимия*. 2005;(1):74-87.
  14. Остроухова ОК, Комарова АС. Оптимизация методов контроля содержания многокомпонентных пестицидов в сельскохозяйственных культурах. *Агрохимия*. 2016;(5):72-5.
  15. Человечкова ВВ, Комарова АС, Черменская ТД, Долженко ВИ. Совместное определение аметоктрадина и диметоморфа в салате. В кн.: Сборник тезисов международной научной конференции «Инновационные экологически безопасные технологии защиты растений»; 24-25 сентября 2015; Алматы, Казахстан; 2015. с. 585-9.
  16. Человечкова ВВ, Комарова АС, Черменская ТД. Одновременное определение имидаклоприда и клотианидина в картофеле и сахарной свекле. *Агрохимия*. 2018;(7):81-4.
  17. Шаповалова ЕН, Пирогов АВ. Хроматографические методы анализа. Методическое пособие для специального курса. М.; 2007.
  5. Dolzhenko VI, Maslakov SYe, Tsibul'skaya IA, Pavlova VF. Opredeleniye Ostatochnykh Kolichestv Tiofanat-Metila i Karbendazima v Zelenoy Masse, Semenakh i Masle Podsolnechnika Metodom Vysokoeffektivnoy Zhidkostnoy Khromatografii (MUK 4.1.3361-16). [Determination of residual amounts of thiophanate methyl and carbendazim in green mass, seeds and sunflower oil with high performance liquid chromatography (MUK 4.1.3361-16)]. *Metodicheskiye ukazaniya*. Moscow: Federal'niy Tsentri Gigieni i Epidemiologii Rospotrebnadzora; 2017. (In Russ.)
  6. Zhurkovich IK, Chelovechkova VV, Lugovkina NV, Utsal' VA, Gladilovich VD. Vybor Optimal'noy Skhemy Analiza Pestitsidnykh Ostatkov. [Selection of an optimal procedure for analysis of residual pesticides]. Moscow: Institut Toksikologii Federal'nogo Mediko-Biologicheskogo Agenstva; 2015. (In Russ.)
  7. Klisenko MA, Lebedeva TA, Yurkova ZF. Himicheskiy Analiz Mikrokolichestv Yadohimikatov. [Chemical Analysis of Trace Amounts of Pesticides]. Moscow: Medicina; 1972. (In Russ.)
  8. Kobleva OV. [Pesticides in food produced in the territory of the Khabarovsk region]. *Ucheniye Zametki TOGU*. 2013;4(3):1-8. (In Russ.)
  9. Komarova AS, Chermenskaya TD, Chelovechkova VV. [Determination of ametoctradin in plant residues and environmental samples with HPLC coupled with a UV detector]. *Zhurnal Analiticheskoy Khimii*. 2017;72(10):904-9. (In Russ.)

#### Общий список литературы/Reference List

1. Alekseyev YeYu, Chermenskaya TD. [Optimization of the method for determining the residual amounts of florasulam in crops]. *Vestnik Zashchity rasteniy*. 2018;97(3):76-80. (In Russ.)
2. Golubev AS, Mahan'kova TA, Redyuk SI, Borushko PI. [Improving the range of herbicides as an element of green plant protection]. *Informatsionnyi byulleten VPRS MOBB*. 2017;(52):79-82. (In Russ.)
3. Dolzhenko VI, Novozhilov KV. [Establishment and development of research related to the system of biological regulation and state registration of new plant protection products]. *Vestnik Zashchity Rasteniy*. 2010;(3):16-29. (In Russ.)
4. Dolzhenko VI, Komarova AS, Chelovechkova VV, Tsibul'skaya IA, Chermenskaya TD. Opredeleniye Ostatochnykh Kolichestv Piridata i Yego Metabolita Piridafola v Zerne i Masle Kukuruzu Metodom Vysokoeffektivnoy Zhidkostnoy Khromatografii s Mass-Spektrometricheskim Detektirovaniem (MUK 4.1.3360-16). [Determination of Residual Quantities of Pyridate and its Metabolite Pyridafol in Corn and Corn Oil with High Performance Liquid Chromatography coupled with Mass-Spectrometric Detection (MUK 4.1.3360-16)]. Moscow: Federalniy Tsentri Gigieni i Epidemiologii Rospotrebnadzora; 2017. (In Russ.)
5. Dolzhenko VI, Maslakov SYe, Tsibul'skaya IA, Pavlova VF. Opredeleniye Ostatochnykh Kolichestv Tiofanat-Metila i Karbendazima v Zelenoy Masse, Semenakh i Masle Podsolnechnika Metodom Vysokoeffektivnoy Zhidkostnoy Khromatografii (MUK 4.1.3361-16). [Determination of residual amounts of thiophanate methyl and carbendazim in green mass, seeds and sunflower oil with high performance liquid chromatography (MUK 4.1.3361-16)]. *Metodicheskiye ukazaniya*. Moscow: Federal'niy Tsentri Gigieni i Epidemiologii Rospotrebnadzora; 2017. (In Russ.)
6. Zhurkovich IK, Chelovechkova VV, Lugovkina NV, Utsal' VA, Gladilovich VD. Vybor Optimal'noy Skhemy Analiza Pestitsidnykh Ostatkov. [Selection of an optimal procedure for analysis of residual pesticides]. Moscow: Institut Toksikologii Federal'nogo Mediko-Biologicheskogo Agenstva; 2015. (In Russ.)
7. Klisenko MA, Lebedeva TA, Yurkova ZF. Himicheskiy Analiz Mikrokolichestv Yadohimikatov. [Chemical Analysis of Trace Amounts of Pesticides]. Moscow: Medicina; 1972. (In Russ.)
8. Kobleva OV. [Pesticides in food produced in the territory of the Khabarovsk region]. *Ucheniye Zametki TOGU*. 2013;4(3):1-8. (In Russ.)
9. Komarova AS, Chermenskaya TD, Chelovechkova VV. [Determination of ametoctradin in plant residues and environmental samples with HPLC coupled with a UV detector]. *Zhurnal Analiticheskoy Khimii*. 2017;72(10):904-9. (In Russ.)
10. Laptiyev AB. [Development of plant protection in the context of increasing the food security of Russia]. *Informatsionnyi Byulleten' VPRS MOBB*. 2017;(52):187-90. (In Russ.)
11. Mahan'kova TA, Kirilenko YeI, Golubev AS. [The range of herbicides for cereals]. *Zashchita i Karantin Rasteniy*. 2011;(3):16-8. (In Russ.)
12. Makhankova TA, Petunova AA, Golubev AS, Kirilenko YeI, Redyuk SI, Chernuha VG, Borushko PI, Suslova LB, Burlakova YuB, Kozhemyakova YeI. Sovremenniy Assortiment Sredstv Zashchity Rasteniy (Gerbitsidy na Posevah Tekhnicheskikh, Ovoshchnykh, Maslichnykh, Priadil'nykh Kultur v Sadakh, na Parovykh Poliakh i Zemlyah Neselskokhoziaystvennogo Naznacheniya). [Modern Range of Plant Protection Products (Herbicides for Industrial, Vegetable, Oilseed and Spinning Crops in Gardens, on Fallow Lands and Non-Agricultural Lands)]. Saint Petersburg: VIZR; 2011. (In Russ.)
13. Ostroukhova OK, Dolzhenko VI, Zhenkevich IG. [Using solid phase extraction and microextraction in analysis of pesticides]. *Агрохимия*. 2005;(1):74-87. (In Russ.)



14. Ostroukhova OK, Komarova AS. [Optimization of methods for controlling the content of multicomponent pesticides in crops]. *Agrokimiya*. 2016;(5):72-5. (In Russ.)
15. Chelovechkova VV, Komarova AS, Chermenskaya TD, Dolzhenko VI. [Joint determination of ametoctradine and dimethomorph in salad]. In: *Sbornik Tezisov Mezhdunarodnoy Nauchnoy Konferentsii «Innovatsionnye Ekologicheski Bezopasnye Tekhnologii Zashchity Rasteniy»*. Almaty; 2015. P. 585-9. (In Russ.)
16. Chelovechkova VV, Komarova AS, Chermenskaya TD. [Simultaneous determination of imidacloprid and clothianidin in potato and sugar beet]. *Agrokimiya*. 2018;(7):81-4. (In Russ.)
17. Shapovalova YeN, Pirogov AV. *Khromatograficheskiye Metody Analiza*. [Chromatographic Methods of Analysis]. Moscow; 2007. (In Russ.)
18. Anastasiades M, Lehotay SJ. Fast and Easy Multiresidue Method Employment Acetonitrile Extraction. In: *Partitioning and «Dispersive Solid-Phase Extraction» for the Determination of Pesticide Residues in Produce*. *J AOAC Int*. 2003; 86:412.



# АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ОСЛАБЛЕНИЯ ХВОЙНЫХ ДРЕВОСТОЕВ В РЕКРЕАЦИОННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ

**А.С. Алексеев<sup>1</sup>, О.А. Ходачек<sup>1</sup>, А.В. Селиховкин<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет

и <sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: a\_s\_alekseev@mail.ru; teremoi@yandex.ru; a.selikhovkin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.02.2019; принята к печати 06.05.2019

Исследования проводились с 2015 по 2018 г. на 11 постоянных пробных площадях, заложенных в рекреационных насаждениях сосны *Pinus sylvestris* и ели *Picea abies* в Санкт-Петербурге и Выборге и в насаждениях общего пользования г. Нарва-Йыэсуу (Эстония). Основные факторы ослабления насаждений как сосны, так и ели, – сумма токсичных солей и кислотность почвы. С ними коррелируют уровни ионов натрия, хлора, магния, кальция, гидрокарбоната и сульфат-иона. Наиболее сильна корреляционная связь состояния насаждений ели с концентрацией ионов хлора. Коэффициенты регрессий оценок состояния насаждений сосны и ели на оценки загрязнения почв токсичными солями значимо не различаются, несмотря на различия в организации корневых систем ели. Возможная причина – проникновение токсичных солей в более глубокие слои почвы. Воздействие рекреационных нагрузок, дендропатогенных организмов, вредителей и погодных условий не влияет на состояние насаждений, но при максимальном уровне загрязнения и наилучшем состоянии насаждений отмечена наибольшая активность вредителей и патогенов. Полученные регрессионные уравнения могут быть использованы для прогнозов состояния древостоев сосны и ели в зависимости от загрязнения почв по двум уровням – летальном и предельно допустимом. Найденные различия пороговых значений загрязнения, стандартных ошибок регрессионных коэффициентов, минимальных и максимальных пороговых величин загрязнений почв токсичными солями между анализируемыми породами невелики. Это позволяет использовать средние от пороговых значений в качестве нормативов предельно допустимого и летального загрязнений почв, а также для мониторинга и прогнозирования состояния древостоев.

*Ключевые слова:* ель европейская, сосна обыкновенная, состояние древостоев, экологические факторы, токсичные соли.

## AN ANALYSIS OF FACTORS THAT CAUSE CONIFEROUS STANDS TO DECAY IN RECREATION AREAS

**A.S. Alekseyev<sup>1</sup>, O.A. Khodachek<sup>1</sup>, A.V. Selikhovkin<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup> Saint-Petersburg Forest Technical University and <sup>2</sup> Saint Petersburg State University,  
Saint Petersburg, Russia city

Email: a\_s\_alekseev@mail.ru; teremoi@yandex.ru; a.selikhovkin@mail.ru

In 2015 through 2018, eleven test plots were studied in recreation areas planted with *Pinus sylvestries* pine trees and *Picea albea* spruce trees. The plots were located in Saint Petersburg and Vyborg (Russia) and Narva-Jõesuu (Estonia). The main factor of decay of both pines and spruces were total toxic salt levels in soil and acidity of soil. Correlated with these factors are the levels of sodium, magnesium, calcium, chloride, bicarbonate, and sulfate ions. The conditions of spruces correlated most significantly with chloride ion levels. The coefficients of regression of the estimates of conditions of pines and spruces on the estimates of soil pollution are not different, in spite of the fact that the arrangements of roots are different in the two tree species. A possible cause of the lack of differences in the coefficients is that toxic salts diffuse into deep soil layers. Factors associated with the presence of humans in the respective recreation areas, as well as pests and climate do not influence the stands. However, upon the highest pollution and the associated attenuation of stands, the activities of pests are highest. Regressions found based on the results obtained during the study may be used for forecasting the conditions of pine and spruce stands at lethal and maximum permissible levels of soil pollution. Differences in the threshold levels of pollution and in the standard errors of regression coefficients between study sites are not high. This makes it possible to use the mean values of these parameters as reference values of maximum permissible and lethal levels of soil pollution and for monitoring and forecasting the conditions of coniferous stands.

*Keywords:* European spruce, Scots pine, the condition of forest stands, ecological factors, toxic salts.

## Введение

Рекреационные насаждения, парки и лесопарки испытывают воздействие нескольких специфических факторов, приводящих к ослаблению и гибели древостоев. В зависимости от расположения и структуры насаждений роль этих факторов может существенно отличаться. В урбанизированной или техногенной среде наиболее интенсивное воздействие может оказывать загрязнение воздуха и почвы. В пригородных парках и лесопарках основным фактором могут оказаться рекреационные нагрузки. Роль вредителей и болезней в каждом случае может выступать как самостоятельный фактор, связанный с целым рядом особенностей конкретных насаждений. В качестве таких особенностей могут выступать структуры популяций патогенов и вредителей, удаленность парковых насаждений от лесных массивов, которые могут служить источником распространения возбудителей болезней и вредителей, состояние и структура насаждений, микроклиматические условия и др. Выявление факторов, доминирующих в процессе ослабления и разрушения древостоев, и установление взаимосвязей между этими факторами затруднены сложностью получения количественной оценки уровня воздействия этих факторов и сопоставления разнородных показателей. Такую задачу удастся решать для лесных экосистем, испытывающих интенсивное воздействие стрессовых факторов [10, 17, 18, 23]. Сложнее ее решать при относительно слабом воздействии стрессовых факторов, так как градиент изменения показателей состояния древостоев, относительно которого оценивается интенсивность воздействия факторов, невелик. Однако решение именно этой задачи важно для понимания сукцессионных процессов в антропогенных лесных экосистемах и для оптимизации методов управления такими экосистемами.

Исследований воздействия различных факторов на лесные экосистемы немало. По этой проблеме опубликован ряд монографий и подготовлены многочисленные диссертационные работы [1, 4, 5, 7–9, 11, 13, 15–16, 19–22]. Однако проблема не теряет своей актуальности, так как установление причинно-следственных связей ослабления древостоев в относительно стабильных экосистемах пока не имеет общего решения. Цель данной работы – выявить ключевые факторы ослабления древостоев в насаждениях, испытывающих не критические антропогенные нагрузки.

## Объекты и методика исследований

Объектами исследования были рекреационные насаждения сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* (Linnaeus, 1758) и ели европейской *Picea abies* (Linnaeus, 1753) Н. Karst, расположенные в Санкт-Петербурге (Баболовский парк, пейзажная часть Павлов-

ского парка – район «Белая береза», парк «Сосновка» и Молодежное участковое лесничество), в Выборге (историческая часть музея-заповедника «Парк Монрепо») и в насаждениях общего пользования г. Нарва-Йыэсуу уезда Ида-Вирумаа в Эстонии (рис. 1).

Постоянные пробные площади (ППП) подобраны так, чтобы они содержали однородные по составу древостои, находились в границах одного типа леса и в сходных климатических условиях (табл. 1 и 2). Всюду преобладают дерново-подзолистые почвы с участками торфяно-подзолистых, торфяно-глеевых и торфяных почв и дерново-карбонатные почвы.

Климат территорий, на которых расположены парки Сосновка, Павловский и Баболовский, характеризуется как переходный от морского к континентальному. Остальные ППП находятся на берегу Финского залива. Здесь влияние воздушных масс Балтийского моря формирует умеренный морской климат с несколько более мягкими температурами в зимний период и умеренно теплым летом.

На каждой ППП были промаркированы и учтены от 70 до 100 деревьев одной породы (табл. 3). Для оценки их состояния использовали стандартную шестибалльную шкалу<sup>1</sup>, по которой к первой категории относят здоровые деревья, а к шестой – старый сухостой. Средний балл состояния рассчитывался как средневзвешенный<sup>2</sup>.

На каждой пробной площади сделали количественные оценки воздействия различных факторов, которые могут оказывать негативное воздействие на состояние древостоев.

Анализ почвы проводили на базе Испытательной лаборатории Филиала ФГБУ «Россельхозцентр» по Ленинградской области (регистрационный № Росс RU DC 1.6.1.047 934.04ШР0 от 13 мая 2015 г.). Глубина отбора почв составляла до 20 см. Исследование структуры и химического состава почв проводили стандартными методами [2] в трехкратной повторности. Гранулометрический состав определяли по ГОСТ 12536-79, количество органического вещества – по ГОСТ 26213-91 (определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, гравиметрический метод определения массовой доли органического вещества), кислотность почвы – по ГОСТ 26484-85; подвижные соединения фосфора и калия – по ГОСТ Р 54650-2011; ГОСТ 26205-91; степень окультуренности почвы – по Благовидову [3]. Оценку загрязнения токсичными солями делали по результатам

<sup>1</sup> «Правила санитарной безопасности в лесах», утвержденные Постановлением Правительства РФ от 20 мая 2017 г.

<sup>2</sup> Распоряжение Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга от 30 августа 2007 г. № 90-р «Об утверждении Методики оценки экологического состояния зеленых насаждений общего пользования Санкт-Петербурга».



Рис. 1. Схема расположения объектов исследования

Табл. 1

Характеристика пробных площадей с преобладанием сосны

№ ППП	Местоположение	Число деревьев	Тип леса и состав древостоя	Подрост/подлесок	Класс бонитета	Класс возраста/полнота
1	СПб, парк Сосновка	74	Групповая посадка, 10С	–	II	VI/–
5	СПб, парк Сосновка	92	Сосняк-черничник, 8С2Е + Ос	–/рябина, крушина	III–IV	V/0,7
2	Выборг, парк Монрепо	71	Сосняк-черничник, 7С3Е + Б	–/рябина (ед.)	III	V/0,5
3	СПб, лесничество Молодежное	80	Сосняк-черничник, 10С	Ель/–	III	V/0,8
4	СПб, Павловский парк	92	Аллеяная посадка 10С	–	I	Свыше VIII/–
6	г. Нарва-Йыэсуу, лесопарк	98	Сосняк липняковый, 9С1Кл	Сосна (ед.) липа/жимолость	II	V/0,5
7	г. Нарва-Йыэсуу, лесопарк	78	Сосняк лишайниково-мшистый, 10С + Е	Ель (ед.)/–	III	VI/0,6

Примечание: ед. – единично.

Характеристика пробных площадей с преобладанием ели

№ ППП	Местоположение	Число деревьев	Тип леса/состав древостоя	Подрост/подлесок	Класс бонитета	Класс возраста/полнота
8	СПб, Баболовский парк	71	Ельник-черничник. 7ЕЗБ	Ель, береза/рябина	III	VI/0,7
9	Выборг, парк Монрепо	78	Ельник-кисличник, 8Е2С + Б	-/рябина (ед.)	II	VII/0,6
10	СПб, лесничество Молодежное	100	Ельник-черничник, 10Е + С	Ель/рябина	III	VI/0,8
11	СПб, Павловский парк	73	Ельник-кисличник, 8Е2С + Б	-/рябина (ед.)	II	VI/0,6

Примечание: ед. – единично.

анализа ионного состава водной вытяжки почвы – по ГОСТ 26423-85. Для определения степени засоления почв использовали метод, основанный на определении суммарного эффекта влияния токсичных ионов, – ГОСТ 17.5.4.02-84, ГОСТ 26426-85, ГОСТ 26490-85 с расчетом показателя суммы токсичных солей. Расчет токсичных и нетоксичных солей основан на связывании ионов в определенной последовательности в гипотетические соли, начиная с менее растворимых солей к более растворимым. Полученное количество мг-экв. ионов токсичных солей переводят в проценты, перемножив его на соответствующий для каждого иона коэффициент. Найденные проценты суммируются, после чего определяется массовая доля токсичных солей от массы исследуемой пробы, выраженная в %.

Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{\sum p}{\sum t} \times 10,$$

где  $\sum p$  – сумма осадков за вегетационный период (мм);  $\sum t$  – сумма среднесуточных положительных температур за вегетационный период (°C).

Рекреационную нагрузку определяли по шкале рекреационных дигрессий, предложенной Н.С. Казанской [7]. Первой стадии дигрессии соответствуют экосистемы, в которых деятельность человека не повлияла на состояние лесной подстилки и живого напочвенного покрова; на второй стадии отмечаются незначительные повреждения; на третьей дорожно-тропиночная сеть плотная, нарушены процессы естественного возобновления леса, в видовом составе травянистой растительности появляются луговые и рудеральные группировки; на четвертой стадии имеется значительное уплотнение почвы и вытаптыва-

ние лесной подстилки, сеть дорог и троп густая, жизнеспособного подроста нет; на пятой – напочвенный покров и лесная подстилка полностью отсутствуют, в составе травянистой растительности лесные виды не представлены.

В период активного посещения территорий, на которых находились пробные площади (май-октябрь 2017 г.), в дневные часы (с 12:00 до 13:00) в выходной (воскресенье) и будний (среда) дни производили подсчет посетителей. Подсчитывали количество механических повреждений деревьев (зарубки, ожоги на стволах, заломы ветвей и пр.), определяли проективное покрытие дорожно-тропиночной сетью, загрязненность территории бытовыми отходами. Также оценивали состояние подроста, подлеска, напочвенного покрова, исследовали видовое разнообразие травянистой растительности. После анализа данных определяли уровень рекреационной нагрузки и стадии дигрессии территории.

Для оценки общего фитосанитарного состояния деревьев и выявления очагов наиболее опасных заболеваний проводили регулярные рекогносцировочные обследования территории пробных площадей. Отмечали участки с нарушенной устойчивостью, где значительная часть деревьев имела признаки ослабления (механические повреждения коры деревьев антропогенного характера, морозобойные трещины, попытки заселения стволовыми вредителями, дупла, сухобочины...).

При определении состояния деревьев на пробных площадях выявляли признаки заболеваний и, по возможности, их возбудителей. Для уточнения видов патогенов привлекали специалистов кафедры защиты леса, древесиноведения и охотоведения Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, а также сотрудников отдела Защиты растений Филиала ФГБУ «Россель-

хозцентр» по Ленинградской области. Определяли степень и характер распространения выявленных заболеваний.

Видовой состав вредителей определяли по повреждениям, личинкам и имаго. Значимыми вредителями на исследуемых объектах были только стволовые насекомые. Оценку плотности популяций проводили по количеству заселенных деревьев, входных и летных отверстий, а также по количеству маточных ходов и брачных камер на стволах деревьев [13]. Поскольку основными вредителями были виды, заселявшие нижнюю часть ствола, для подсчета этих показателей брали круговые палетки на высоте груди. Кроме того, учет численности сосновых лубоедов проводили по количеству опавших побегов, поврежденных при дополнительном питании вредителя.

Для количественной оценки влияния различных природных и антропогенных факторов на состояние древостоев сосны и ели применяли методы корреляционного, дисперсионного и регрессионного анализа, которые традиционно используются для решения такого рода задач. В качестве программного обеспечения использовали пакет STATISTICA ver. 10.

## Результаты

### Количественные характеристики и их предварительный анализ

Усредненные баллы оценки состояния древостоев по годам исследования приведены в табл. 3, где ППП расположены в порядке убывания различий между первым и последним годами исследования (гради-

ент ухудшения). На ППП с сосновыми древостоями некоторое ухудшение их состояния отмечено в парках Сосновка, Павловском, Монрепо и в лесничестве Молодежное. На ППП с древостоями ели их состояние ухудшилось в Баболовском парке, парке Монрепо и лесничестве Молодежное. При этом в парке Сосновка и Баболовском градиент ухудшения был в несколько раз больше, чем на других ППП (табл. 3), но только в Баболовском парке насаждение можно характеризовать как ослабленное. Следует отметить, что пробная площадь там расположена в глубине массива парка, слабо посещается населением, и мероприятия по уходу за насаждением в этой части парка не проводятся. ППП 1 в парке Сосновка, напротив, расположена на окраине парка рядом с автомагистралью и испытывает высокие рекреационные и техногенные нагрузки.

Концентрации различных веществ в почве на пробных площадях в сопоставлении с градиентом индекса состояния насаждений приведены в табл. 4. Увеличению градиента ухудшения состояния соответствует увеличение концентрации ионов натрия, хлора, магния и кальция.

Степень окультуренности почв варьировала от слабой до средней. Гранулометрический состав почв варьировал от свойственного рыхлому песку до свойственного легкому суглинку. Соответствия градиенту состояния древостоев у обоих этих показателей не заметны. Также нет такого соответствия у динамики метеоклиматических данных, в том числе гидротермического коэффициента, и у сумм температур и осадков за вегетационный сезон (табл. 5 и 6). Не

Табл. 3

Динамика балльных оценок состояния древостоев по годам

№ ППП	Год				Градиент (2015–2018)
	2015	2016	2017	2018	
<b>Сосна</b>					
1. Сосновка	1,15	1,28	1,32	1,34	0,19
2. Монрепо	1,29	1,35	1,35	1,38	0,09
3. Молодежное	1,15	1,21	1,21	1,24	0,09
4. Павловск	1,23	1,27	1,3	1,3	0,07
5. Сосновка	1,03	1,07	1,08	1,08	0,05
6. Нарва	1,05	1,06	1,06	1,06	0,01
7. Нарва	1,04	1,04	1,04	1,04	0,00
<b>Ель</b>					
8. Баболовский парк	1,87	1,96	2,17	2,19	0,32
9. Монрепо	1,09	1,09	1,16	1,22	0,13
10. Молодежное	1,22	1,26	1,27	1,27	0,05
11. Павловск	1,05	1,05	1,06	1,06	0,01

Табл. 4

**Концентрации различных веществ в почве на пробных площадях в порядке уменьшения градиента индекса состояния древостоев**

№ ППП	Градиент	рН КСІ	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	Органическое вещество (%)	Ионы, ммоль/100 г						Сумма токсичных солей, %
						Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
<b>Сосна</b>												
1	0,19	4,1	105 ± 21,0	71,2 ± 14,2	22,2 ± 9,2	0,26	0,5	1,20	1,10	0,10	0,2	0,041
2	0,09	3,4	59,8 ± 12,0	224,0 ± 34,0	44,0 ± 6,7	0,13	0,6	0,50	0,75	0,30	0,2	0,034
3	0,09	3,9	58,5 ± 11,7	24,2 ± 4,8	4,1 ± 0,5	0,12	0,3	0,38	0,38	0,15	0,1	0,032
4	0,07	4,2	34,5 ± 6,9	65,3 ± 13,1	17,1 ± 9,9	0,16	0,4	0,25	0,25	0,15	0,2	0,031
5	0,05	4,6	122,0 ± 25,0	97,7 ± 14,7	8,5 ± 0,9	0,15	0,3	0,50	0,75	0,15	0,1	0,019
6	0,01	5,5	129,0 ± 26,0	190,0 ± 29,0	16,3 ± 9,9	0,12	0,3	0,29	0,38	0,12	0,2	0,020
7	0,00	5,6	644,0 ± 129,0	206,0 ± 31,0	6,9 ± 0,5	0,13	0,3	0,32	0,38	0,16	0,1	0,019
<b>Ель</b>												
8	0,32	3,1	199,0 ± 40,0	47,1 ± 9,4	87,2 ± 1,5	0,39	0,6	1,50	1,50	0,20	0,3	0,050
9	0,13	4,5	170,0 ± 35,0	318,0 ± 52,0	5,2 ± 0,5	0,17	0,3	0,38	0,38	0,15	0,4	0,029
10	0,05	3,6	12,9 ± 4,5	28,0 ± 5,6	6,3 ± 0,5	0,14	0,3	0,25	0,38	0,15	0,2	0,033
11	0,01	4,9	171,0 ± 34,0	94,0 ± 40,0	31,9 ± 8,1	0,13	0,3	0,38	0,38	0,10	0,1	0,020

**Примечание:** знаком «±» обозначаются пределы относительной погрешности и допускаемые относительные отклонения результатов измерений в соответствии с нормативной документацией используемых методов.

просматриваются связи градиента индекса состояния древостоев со стадиями рекреационной дигрессии насаждений и с поражением вредителями и болезнями (табл. 5).

Следует отметить, что на ППП 8, расположенной в глубине Баболовского парка и подвергающейся минимальным рекреационным нагрузкам, отмечен наибольший градиент ухудшения состояния еловых насаждений и высокий уровень активности вредителей и болезней. На этой пробной площади 29% деревьев поражено язвенным раком, корневой губкой и окаймленным трутовиком, тогда как доля поврежденных деревьев на других пробах не превышает 9%.

Проанализировать зависимость собственно индекса состояния насаждений (табл. 3), а не градиента, от приведенных характеристик (табл. 4–6) путем простого сопоставления показателей не представляется возможным ввиду большого объема разнородных данных.

Для дальнейшего анализа полученных данных последовательно использовали дисперсионный и регрессионный анализы. Множественный регрессионный анализ применить не удалось, так как анализируемые факторы сильно коррелируют один с другим, и в некоторых случаях даже одни факторы оказались линейной комбинацией других. Поэтому влияние

каждого из них изучалось отдельно с помощью однофакторного дисперсионного анализа.

В результате анализа не были найдены статистически значимые связи между метеоклиматическими условиями, вредителями, болезнями, состоянием почв и стадиями рекреационной дигрессии, с одной стороны, и состоянием древостоев сосны и ели – с другой. Установлено наличие сильной положительной корреляции состояния древостоев с суммой токсичных солей и отрицательной корреляции – с уровнем кислотности почвы. Наличие в почвах токсичных ионов натрия, хлора, магния, кальция, гидрокарбоната и сульфат-иона сильно коррелирует с величиной суммы токсичных солей. Последняя также имеет сильную отрицательную корреляционную связь с рН почвы, то есть при увеличении кислотности состояние насаждений ухудшается.

В табл. 7 и на рис. 2, 3 и 4 представлена динамика средних значений балла состояния древостоев с интервалами наименьших существенных различий и результаты регрессионного анализа влияния суммы токсичных солей и кислотности почв на состояние древостоев сосны.

Данные табл. 7 показывают статистически достоверное влияние загрязнения почв токсичными солями на состояние древостоев сосны обыкновенной.

Табл. 5

**Гидротермический коэффициент, рекреационная дигрессия и степень поражения вредителями и болезнями насаждений на пробных площадях в соответствии с градиентом индекса состояния насаждений**

№ ППП	Градиент	Гидротермический коэффициент по годам				Число посетителей за 1 час	Стадия рекреационной дигрессии	Степень поражения	
		2015	2016	2017	2018			болезнями	вредителями
<b>Сосна</b>									
1	0,19	1,04	1,83	2,07	1	20–25	4	+	+
2	0,09	1,42	1,53	1,72	1,07	25–30	5	–	+
3	0,09	1,11	2,23	2,02	1,01	Менее 3	1	–	+
4	0,07	1,12	2,29	2,15	0,98	10–15	3	–	–
5	0,05	1,04	1,83	2,07	1	5–10	2,5	–	–
6	0,01	1,15	2,75	2,76	1,24	5–10	2,5	–	–
7	0	1,15	2,75	2,76	1,24	15–20	4	–	–
<b>Ель</b>									
8	0,32	1,12	2,29	2,15	0,98	Менее 3	1	++	+++
9	0,13	1,42	1,53	1,72	1,07	65–70	5	–	+
10	0,05	1,11	2,23	2,02	1,01	Менее 5	1	–	+
11	0,01	1,12	2,29	2,15	0,98	15–20	4	+	–

Табл. 6

**Сумма температур и осадков за вегетационный сезон на пробных площадях в насаждениях сосны и ели по годам**

№ ППП	Суммарная температура, °С					Суммарные осадки, мм				
	2015	2016	2017	2018	Норма	2015	2016	2017	2018	Норма
<b>Сосна</b>										
1	2160	2283	2024	2529	2270	229	418	420	253	343
2	1980	2070	2018	2382	2162	282	317	348	256	318
3	2019	2233	2150	2310	2170	224	499	435	233	326
4	2005	2180	2027	2529	2153	231	499	435	249	330
5	2160	2283	2024	2529	2270	229	418	420	253	343
6	2087	2185	1994	2493	2210	241	600	550	309	329
7	2087	2185	1994	2493	2210	241	600	550	309	329
<b>Ель</b>										
8	2005	2180	2027	2529	2153	231	499	435	249	330
9	1980	2070	2018	2382	2162	282	317	348	256	318
10	2019	2233	2150	2310	2170	224	499	435	233	326
11	2005	2180	2027	2529	2153	231	499	435	249	330



Табл. 7

Результаты дисперсионного анализа влияния загрязнения почвы токсичными солями на состояние древостоев сосны обыкновенной

Источник изменчивости	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений	F-критерий	P-значение
Между группами	0,368036	5	0,0736071	44,06	0,0000
Внутри групп	0,03675	22	0,00167045		
Всего	0,404786	27			

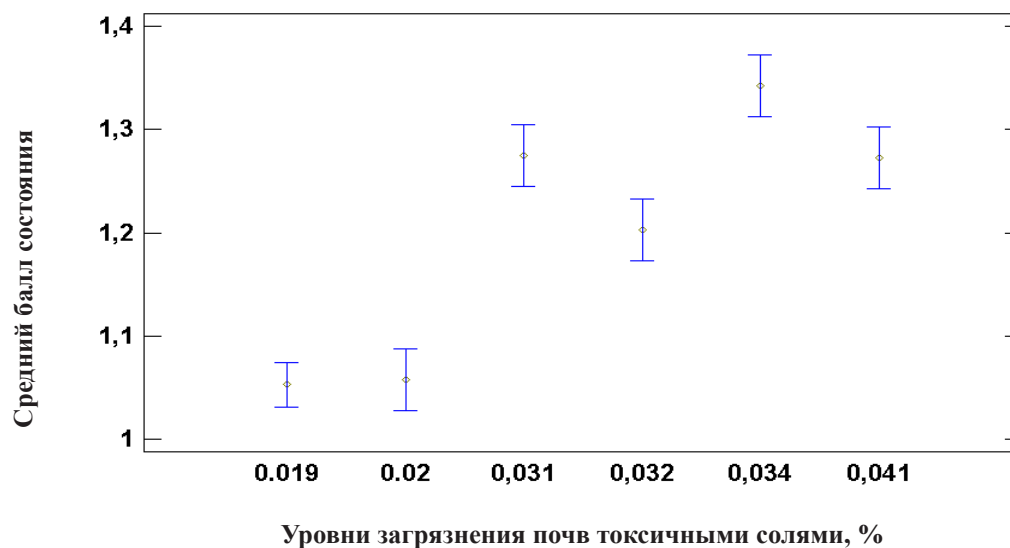


Рис. 2. Средние значения балла состояния древостоев сосны обыкновенной и интервалы наименьших существенных различий (LSD, при P ≥ 95%)

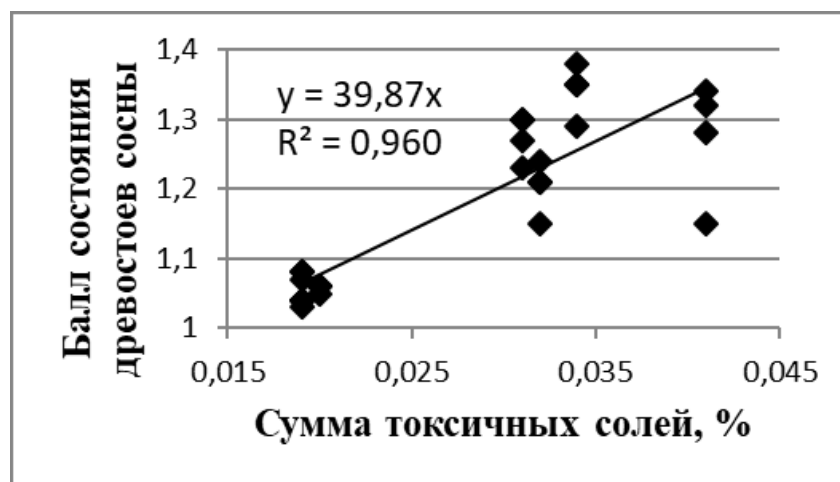


Рис. 3. Зависимость состояния древостоев сосны от загрязнения почв токсичными солями

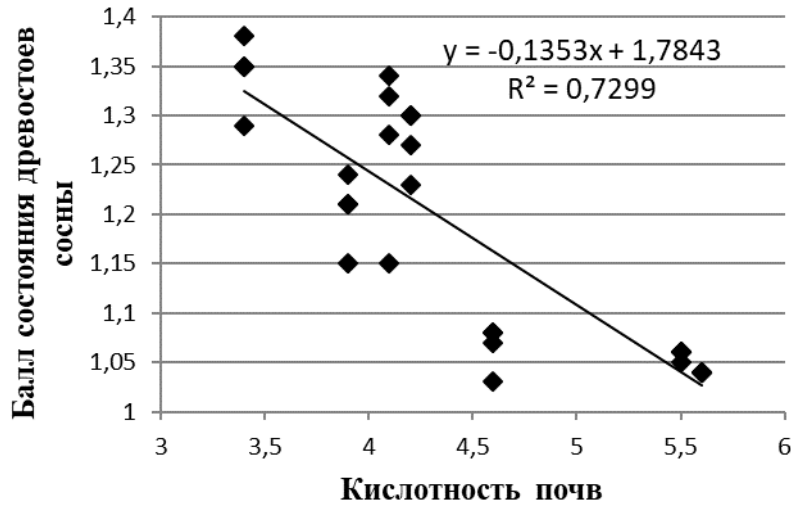


Рис. 4. Зависимость состояния древостоев сосны от кислотности почв

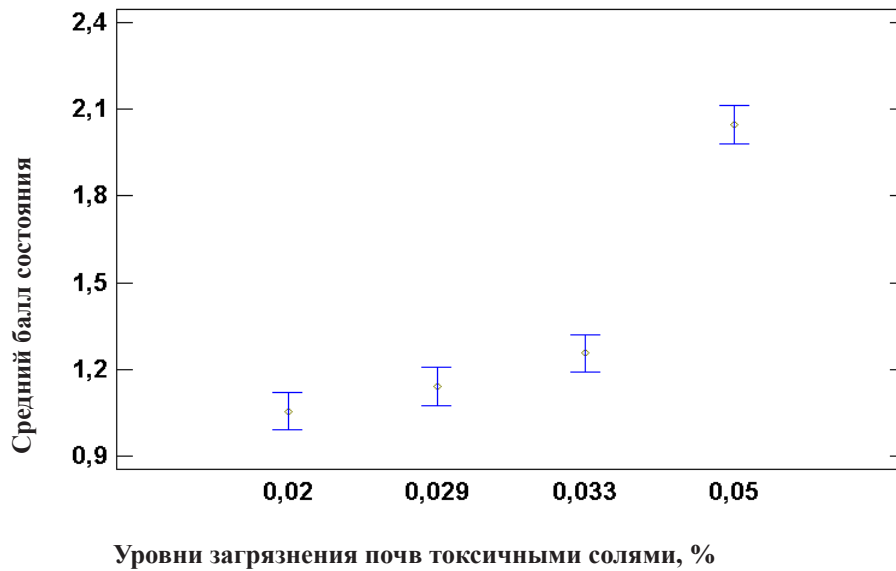


Рис. 5. Средние значения балла состояния древостоев ели европейской и 95% интервалы наименьших существенных различий (LSD, при P ≥ 95%)

Коэффициент детерминации линейной зависимости составляет 0,96 (рис. 3), и это говорит о том, что 96% изменчивости баллов состояния древостоев сосны на 7 пробных площадях с 2015 по 2018 г. определяется загрязнением почв токсичными солями. Доля влияния всех остальных факторов на жизненное состояние древостоев сосны составляет 4%.

Состояние древостоев сосны достоверно зависит также и от кислотности почв.

Множественный регрессионный анализ совместного действия этих двух основных факторов на состоя-

ние древостоев сосны показывает, что они определяют 99,2% изменчивости состояния древостоев.

$$y = 23,8434x_1 + 0,113048x_2, R^2 = 99,2\%,$$

где  $y$  – балл состояния древостоев сосны;  $x_1$  – сумма токсичных солей (%);  $x_2$  – кислотность почв. Причем фактор «сумма токсичных солей» определяет состояние древостоев на 96%, «кислотность» – на 3,2%.

В ионном составе водной вытяжки обследуемых почв наибольшее негативное влияние на состояние древостоев сосны оказывают ионы хлора.

В табл. 8 и на рис. 5–7 представлена динамика средних значений балла состояния с интервалами наименьших существенных различий и результаты дисперсионного анализа влияния суммы токсичных солей на состояние древостоев ели. Установлена высокая статистическая достоверность влияния загрязнения почв токсичными солями на состояние древостоев ели европейской (табл. 8).

Коэффициент детерминации линейной зависимости составляет 0,989, и это говорит о том, что 98,9% изменчивости баллов состояния древостоев ели на 4 пробных площадях с 2015 по 2018 г. определяется загрязнением почв токсичными солями. Доля влияния всех остальных факторов на жизненное состояние древостоев ели составляет 1,1%.

Множественный регрессионный анализ совместного действия этих двух основных факторов на состояние древостоев ели европейской показывает, что совместно они определяют 99,1% изменчивости состояния древостоев.

$$y = 36,86x_1 + 0,040x_2, R^2 = 99,1\%$$

где  $y$  – балл состояния древостоев ели;  $x_1$  – сумма токсичных солей (%);  $x_2$  – кислотность почв. Причем фактор «сумма токсичных солей» определяет состояние древостоев ели почти на 99%, кислотность почв влияет достоверно, но очень слабо.

Множественный регрессионный анализ в том случае, когда имеется сильная корреляция между величинами объясняющих переменных, требует дополнительного обоснования, так как наличие такой корреляции является признаком мультиколлениарности, которая имеет своим следствием недостоверность оценок регрессионных коэффициентов. Для проверки наличия и существенности мультиколлениарности вычисляется специальный показатель – фактор увеличения дисперсии (variance inflation factor) VIF, который в наших случаях равен для сосны – 5,9, для ели – 4,7, что ниже порогового значения, обычно принимаемого равным 10 (иногда 5). Таким образом, в нашем случае мультиколлениарность

Табл. 8

**Результаты дисперсионного анализа влияния загрязнения почвы токсичными солями на состояние древостоев ели европейской**

Источник изменчивости	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений	F- критерий	P-значение
Между группами	2,49712	3	0,832373	113,41	0,0000
Внутри групп	0,088075	12	0,00733958		
Всего	2,58519	15			

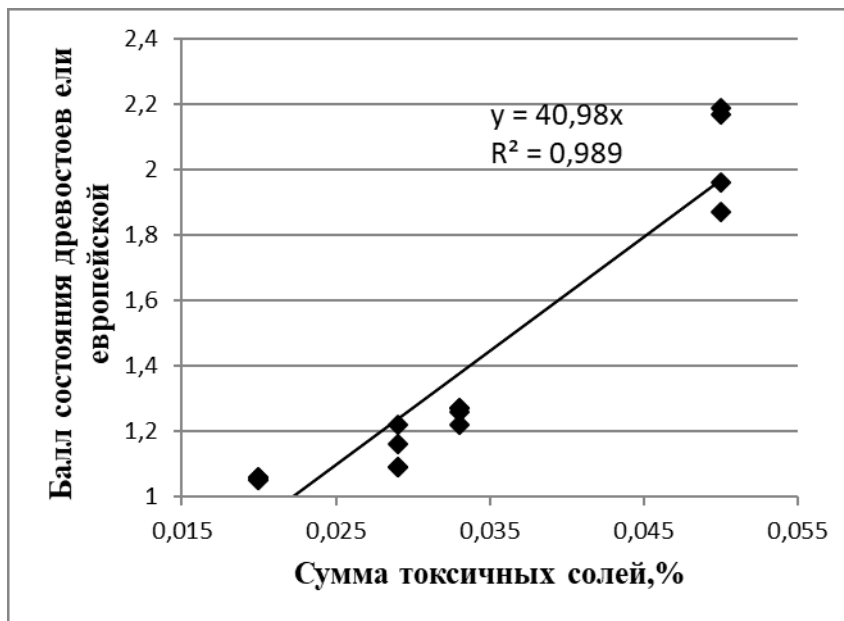


Рис. 6. Зависимость состояния древостоев ели европейской от загрязнения почв токсичными солями

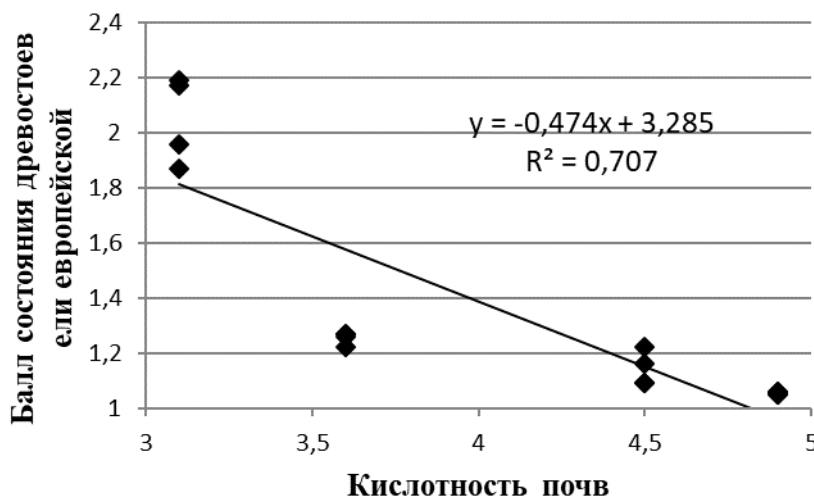


Рис. 7. Зависимость состояния древостоев ели европейской от кислотности почв

Табл. 9

Пороговые величины загрязнения почв токсичными солями для насаждений сосны и ели

Порода	Уровень загрязнения					
	Предельно допустимый (балл состояния 1,5)			Летальный (балл состояния 5,0)		
	минимальный	средний	максимальный	минимальный	средний	максимальный
Сосна	0,036	0,038	0,039	0,121	0,125	0,131
Ель	0,036	0,037	0,038	0,119	0,122	0,125

между скоррелированными объясняющими переменными может считаться несущественной, и результаты регрессионного анализа являются достоверными для решения поставленной задачи – определения основного действующего фактора из двух претендентов «сумма токсичных солей» и «кислотность почв». Ведущим фактором, как показал множественный регрессионный анализ, является «сумма токсичных солей», то есть более сильный фактор частично «поглотил» действие менее сильного, но не исключил его достоверное влияние на состояние древостоев хвойных пород.

Так же как и для насаждений сосны, содержание органического вещества, фосфора и калия в почве не связано с жизненным состоянием древостоев ели; концентрация ионов натрия, хлора, магния, кальция, гидрокарбоната и сульфат-иона сильно коррелирует с величиной суммы токсичных солей, которая в свою очередь имеет сильную отрицательную корреляционную связь со значением pH почвы.

Наиболее сильное влияние на состояние насаждений ели оказывает концентрация ионов хлора, как имеющих наиболее сильную корреляцию с фактором «сумма токсичных солей».

Учитывая определяющее влияние на состояние древостоев сосны обыкновенной и ели европейской загрязнения почв токсичными солями, в дальнейшем анализе мы рассматриваем только эти зависимости.

Регрессионные зависимости состояния древостоев сосны и ели от загрязнения почв токсичными солями имеют следующий вид:

$$y = a \times x.$$

Коэффициент *a* показывает, насколько изменится (ухудшится) средний балл состояния древостоев при увеличении загрязнения почв *x* на единицу.

Таким образом, коэффициенты регрессионных зависимостей состояния древостоев сосны и ели от загрязнения почв токсичными солями характеризуют их чувствительность к загрязнению почв. У сосны этот

регрессионный коэффициент равен  $39,87 \pm 1,56$ , у ели  $40,98 \pm 1,11$ , отсюда следует, что рассматриваемые насаждения ели и сосны примерно одинаково реагируют на загрязнение почв.

Полученные регрессионные уравнения могут быть использованы для прогнозов состояния древостоев сосны и ели в зависимости от загрязнения почв для двух уровней – летального и предельно допустимого.

Результаты таких расчетов с учетом стандартных ошибок регрессионных коэффициентов представлены в табл. 9.

В целом, различие пороговых значений загрязнения почв токсичными солями между анализируемыми породами невелико. Малы и стандартные ошибки регрессионных коэффициентов, минимальные и максимальные значения пороговых величин загрязнений почв различаются незначительно (табл. 9). В связи с этим в качестве нормативов можно обоснованно использовать средние величины пороговых значений. Полученные величины нормативов предельно допустимого и летального загрязнений почв могут быть использованы для мониторинга и прогнозирования состояния древостоев сосны обыкновенной и ели европейской и, соответственно, принятия своевременных мер, направленных на улучшение состояния древостоев.

### Обсуждение и выводы

Результаты статистического анализа показывают, что среди исследуемых характеристик почвы пробных площадей наиболее тесные взаимосвязи состояния насаждений как сосны, так и ели наблюдаются с концентрацией в почве токсичных солей. С этими показателями, в свою очередь, коррелируют концентрации ионов натрия, хлора, магния, кальция, гидрокарбоната и сульфат-иона. Наиболее сильная корреляционная связь состояния насаждений ели отмечается с концентрацией ионов хлора.

Максимальный балл состояния и наибольший градиент ослабления наблюдались на пробных площадях в парке Сосновка (ППП № 1, сосна) и в Баболовском парке (ППП № 8, ель). Здесь выявлено максимальное, по сравнению с другими участками, содержание токсичных солей. Установленные значения засоления не являются пороговыми и не позволяют отнести эти почвы к засоленным [2]. Однако весьма вероятно, с учетом установленных корреляционных связей между содержанием солей в почве и состоянием насаждений, что такое содержание солей оказывает негативное влияние на состояние насаждений. При этом нельзя исключить и влияние других негативных факторов. В частности, на пробной площади в Баболовском парке выявлено максимальное распространение болезней и вредителей. С учетом местоположения этого участка можно предположить его техногенное загрязнение

другими веществами, которые не были учтены при проведении анализов, например, солями тяжелых металлов. Основными источниками такого загрязнения могут являться стоки с возвышенности, расположенной к северо-западу от Баболовского парка в районе совхоза Шушары (этот участок ранее интенсивно использовался для захоронений промышленных отходов; сейчас там расположен Экспоцентр, ведется интенсивное жилищное строительство) и из района коттеджного поселка Александровское, где раньше находились земли сельхозпользования. Также на расстоянии не более 10 км от объекта длительное время (в течение 45 лет) функционировал полигон ТБО «Южный», где неоднократно были зафиксированы возгорания. Стоками органических веществ с земель сельхозпользования и свалок, усилившимися в процессе жилищного строительства и промышленного освоения этих территорий, может объясняться и относительно высокое содержание органических веществ в почве на пробах 2, 11 и 8 (табл. 4).

Участок в «Сосновке», где также наблюдалась максимальная концентрация токсичных солей, подвергается повышенным рекреационным нагрузкам. Кроме того, непосредственная близость этой пробной площади к автодороге с интенсивным движением неизбежно ведет к увеличению концентрации в воздухе и почве токсичных элементов (тяжелых металлов, диоксидов углерода и серы, альдегидов и пр.), концентрацию которых в данном исследовании мы не определяли.

Было установлено также наличие достоверной связи ухудшения состояния насаждений с увеличением уровня кислотности почвы. Наименее здоровые еловые древостои Баболовского парка произрастали на сильнокислых почвах (рН 3,1). Оптимальны для ели европейской и сосны обыкновенной значения рН от 5,5 до 7,5 [6]. Кроме того, при рН < 4,5 создаются благоприятные условия для развития грибных инфекций [14], что и происходит в еловых насаждениях исследуемой части Баболовского парка.

Таким образом, полученные данные позволяют предположить, что ухудшение состояния обследуемых древостоев определяется несколькими факторами. Среди учтенных экологических факторов оказывает негативное воздействие увеличение содержания токсичных солей в почве и повышение уровня кислотности почвы. Сопутствующими факторами, действие которых достоверно проявляется на пробных площадях с наибольшей концентрацией токсичных солей, являются рекреационные нагрузки и деятельность вредителей и патогенов. Кроме того, весьма вероятно наличие неучтенных факторов, в частности загрязнение тяжелыми металлами или другими техногенными веществами, концентрации которых не определялись в ходе настоящего исследования.

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Алексеев АС. Мониторинг лесных экосистем. СПб.: Изд-во СПбЛТА; 2003.
2. Аринушкина ЕВ. Руководство по химическому анализу почв. М.: Издательство МГУ; 1970.
3. Благовидов НЛ. Природные условия и качественная оценка земель северо-западной зоны РСФСР. В кн.: Система ведения сельского хозяйства северо-западной зоны РСФСР Л.: Колос; 1968. С. 31-63.
4. Гласова НВ. Антропогенная трансформация пригородных ельников: Автореф. дисс. ... канд. сельхоз. наук. Архангельск; 2006.
5. Грязькин АВ, Смертин ВН, Петрик ВВ. Динамика структуры и состояния парковых фитоценозов в условиях интенсивной рекреации. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова; 2015.
6. Иванов АФ. Рост древесных растений и кислотность почвы. Минск: Наука и техника; 1970.
7. Казанская НС, Ланина ВВ, Марфенин НН. Рекреационные леса. М.: Лесная промышленность; 1977.
8. Кулагин ЮЗ. Лесообразующие виды, техногенез и прогнозирование. М.; 1980.
9. Кулагин ЮЗ. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука; 1974.
10. Лукина НВ, Никонов ВВ. Биогеохимические циклы в лесах севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Ч. 2. Апатиты: Кольский научный центр РАН; 1996.
11. Маслов АД. Интегрированная оценка состояния деревьев. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2009;(187):185-92.
12. Маслов АД. Методические рекомендации по надзору, учету и прогнозу массовых размножений стволовых вредителей и санитарного состояния лесов. Пушкино. МПР, ВНИИЛМ; 2006.
13. Мощеникова НБ. Оценка экологического состояния зеленых насаждений Санкт-Петербурга. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.; 2011.
14. Небольсин АН, Небольсина ЗП. Известкование почв (результаты 50-летних полевых опытов). СПб.: ГНУ ЛНИИСХ Россельхозакадемии, 2010.
15. Полякова ГА, Малышева ТВ, Флеров АА. Антропогенное влияние на сосновые леса Подмосковья. М.: Наука; 1981.
16. Прохоров ВП. Исследование резистентности сосновых насаждений Карельского перешейка в различных условиях рекреационной нагрузки. Автореф. дисс. ... канд. сельхоз наук. Л.; 1977.
17. Селиховкин АВ. Количественная оценка воздействия насекомых-дендрофагов на состояние древостоев. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2009;(187):285-96.
18. Селиховкин АВ, Поповичев БГ. Возможность количественной оценки воздействия катастрофических факторов на лесные экосистемы. Биосфера. 2016;8(2):170-7.
19. Слепян ЭИ. Химические средства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве и лесном строительстве и проблема нарушения и восстановления экологических систем. В кн.: Охрана природы и применение химических средств в сельском и лесном хозяйстве. Л.: Наука; 1981. С. 5-34.
20. Слепян ЭИ. Система патогенных факторов, факторов риска и патотропных ситуаций в аспекте естественно-научной картины Мира. В кн.: Биологическая индикация в антропоэкологии: Материалы 2 Всесоюзного совещания по космической антропоэкологии. Ленинград, 2-6 июня 1984. Л.; 1984. С. 6-62.
21. Спурр СГ, Барнес БВ. Лесная экология. М.: Лесная промышленность; 1984.
22. Трешоу М. (ред.) Загрязнение воздуха и жизнь растений. Л.: Гидрометеиздат; 1988.
23. Ходачек ОА, Селиховкин АВ. Количественная оценка воздействия стрессовых факторов на лесные экосистемы: методика и объекты. В кн.: Мусолина ДЛ, Селиховкин АВ. – ред. IX Чтения памяти О.А. Катаева. Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах. Материалы международной конференции, Санкт-Петербург, 23–25 ноября 2016 г. СПб.: СПбГЛТУ; 2016. С. 113.

### Общий список литературы/Reference List

1. Alekseyev AS. Monitoring Lesnykh Ecosystem. Saint Petersburg: Izdatelstvo SPbLTA; 2003. (In Russ.)
2. Arinushkina YeV. Rukovodstvo po Khimicheskomu Analizu Pochv. Moscow: MGU; 1970. (In Russ.)
3. Blagovidov NL. [Natural conditions and qualitative assessment of land areas in the Northwest of the Russian Federation]. In: Sistema Vedeniya Selskogo Khozaistva Severo-Zapadnoy Zony RSFSR. Leningrad: Kolos; 1968. P. 31-61. (In Russ.)

4. Glasova NV. Antropogennaya Transformatsiya Prigorodnykh Yelnikov. Candidate of Agricultural Sciences Theses. Arkhangelsk; 2006. (In Russ.)
5. Gryazkin AV, Smertin VN, Petrik VV. Dinamika Struktury i Sostoyaniya Parkovykh Fitotsenozov v Usloviyakh Intensivnoy Rekreatsii. Arkhangelsk: Severnyy (Arkticheskiy) Federalny Universitet imeni M.V. Lomonosova; 2015. (In Russ.)
6. Ivanov AF. Rost Drevesnykh Rasteniy i Kislotnost Pochvy. Minsk: Nauka i Tekhnika; 1970. (In Russ.)
7. Kazanskaya NS, Lanina VV, Marfenin NN. Rekreatsionnye Lesa. Moscow: Lesnaya promyshlennost; 1977. (In Russ.)
8. Kulagin YuZ. Lesoobrazuyushchiye Vidy, Tekhnogenez i Prognozirovaniye. Moscow; 1980. (In Russ.)
9. Kulagin YuZ. Drevesnye Rasteniya i Promyshlennaya Sreda. Moscow; 1974. (In Russ.)
10. Lukina NV, Nikonov BB. Biogeokhimicheskiye Tsykly v Lesakh Severa v Usloviyakh Aerotekhnogenogo Zagryazneniya. Apatity: Kolskiy Nauchnyi Tsentr RAN; 1996.
11. Maslov AD. [Integrated assessment of trees]. Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii. 2009;(187):185-92. (In Russ.)
12. Maslov AD. Metodicheskiye rekomendatsii po nadzoru, uchetu i prognozu massovogo raznozheniya stvolovykh vrediteley i sanitarnogo sostoyaniya lesov. Pushkino. MPR, VNIILM; 2006. (In Russ.)
13. Moshchenikova NB. Otsenka Ekologicheskogo Sostoyaniya Zelenykh Nasazhdeniy Sankt-Peterburga. Candidate of Biological Sciences Theses. Moscow; 2011. (In Russ.)
14. Nebolsin AN, Nebolsina ZP. Izvestkovaniye Pochv (Rezultaty 50-Letnikh Polevykh Opytov). Saint Petersburg: GNU LNIISKh Rosselkhozakademii; 2010. (In Russ.)
15. Polyakova GA, Malysheva TV, Flerov AA. Antropogennoye Vliyaniye na Sosnovye Lesa Podmoskovya. Moscow: Nauka; 1981. (In Russ.)
16. Prokhorov VP. Issledovaniye Rezistentnosti Sosnovykh Nasazhdeniy Karelskogo Peresheyka v Razlichnykh Usloviyakh Rekreatsionnoy Nagruzki. Candidate of Agricultural Sciences Theses. Leningrad; 1977. (In Russ.)
17. Selikhovkin AV. [Quantitative assessment of the effects of dendrophagous insects on forest health]. Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii. 2009;(187):285-96. (In Russ. English summary)
18. Selikhovkin AV, Popovichev BG. [On the possibility to assess quantitatively the impacts of catastrophic factors on woodlands]. Biosfera. 2016;8(2):170-7. (In Russ. English summary)
19. Slepian EI. [Chemicals in agriculture, forestry, fisheries, and forest management and the problem of violation and restoration of ecological systems]. In: Okhrana Prirody i Primeneniye Khimicheskikh Sredstv v Selskom i Lesnom Khozyaystve. Leningrad: Nauka; 1981. P. 5-34. (In Russ.)
20. Slepian EI. [The system of pathogenic factors, risk factors and pathotropic situations in the aspect of the natural science picture of the World]. In: Biologicheskaya Indikatsiya v Antropoekologii: Materialy 2 Vsesoyuznogo Soveshchaniya po Kosmicheskoy Antropoekologii. Leningrad, June 2-6, 1984. Leningrad; 1984. P. 6-62. (In Russ.)
21. Spurr SG, Barnes BV. Lesnaya Ekologiya. [Forest Ecology]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost; 1984. (In Russ.)
22. Treshou M, ed. Zagryazneniye Vozdukh i Zhizn Rasteniy. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1988. (In Russ.)
23. Khodachek OA, Selikhovkin AV. [Quantitative assessment of the impact of stress factors on forest ecosystems: methods and objects]. In: Musolin DL, Selikhovkin AV. (Eds.). IX Katayev Memorial Readings Dendrobiotnye Bespozvonochnye Zhivotnye i Griby i Ikh Rol v Lesnykh Ekosistemakh. [Dendrobiotic Invertebrates and Fungi and their Role in Forest Ecosystems]. Saint Petersburg; SPbGLTU; 2016. P. 113. (In Russ.)





# СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

## АЛЕКСЕЕВ

### АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ,

доктор географических наук, профессор, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, заведующий кафедрой лесной таксации, лесоустройства и ГИС, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. Родился в 1953 г. в Ленинграде. В 1975 г. окончил Экономический факультет по кафедре экономико-математических расчетов Ленинградского государственного университета им. А.А. Жданова. Научные интересы: лесоустройство и устойчивое управление лесами, мониторинг лесных экосистем, лесная экология, инвентаризация лесных ресурсов, математическое моделирование процессов в лесных экосистемах, применение компьютерных и ГИС-технологий в лесном хозяйстве. Действительный член Российской академии естественных наук, член Научно-технического Совета Минприроды России, заместитель председателя Секции лесоустройства, государственной инвентаризации лесов и лесного реестра Научно-технического Совета Федерального агентства лесного хозяйства, иностранный член Королевской Шведской академии сельского и лесного хозяйства, член Международной академии наук о древесине. Член редколлегии журналов: «Лесоведение», «Вопросы лесной науки», «Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии», Forest ecosystems, «Известия высших учебных заведений», «Лесной журнал» (2007–2010), Urban Forestry & Greening (2005–2009). Приглашенный лектор в Университете Восточной Финляндии: курс «Лесные ресурсы России, их классификация и инвентаризация». Автор более 290 публикаций.

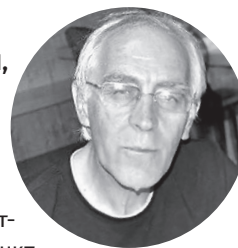


институт по направлению «Математическое моделирование в области гидрометеорологии». В 2005 г. защитила диссертацию «Экспресс-анализаторы состава атмосферы на поглощении излучения в вакуумной ультрафиолетовой области» и получила ученую степень кандидата технических наук. Член Учебно-методической комиссии высших учебных заведений Северо-Западного федерального округа Российской Федерации по направлениям подготовки «Безопасность жизнедеятельности» и «Защита окружающей среды». Член-корреспондент Метрологической академии. Награждена Почетной грамотой Министерства образования и науки за заслуги в области высшего образования. Имеет Благодарности Правительства и ведомств Санкт-Петербурга.

## ЛЕВЧЕНКО

### ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ,

доктор биологических наук, заведующий лабораторией моделирования эволюции Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, председатель Государственной аттестационной комиссии Санкт-Петербургского государственного университета по специальности «экология и биоразнообразие». Родился в 1949 г. в Ленинграде, окончил в 1973 г. физический факультет ЛГУ по специальности «ядерные реакции». Работал астрофизиком в Физико-техническом институте им. А.И. Иоффе РАН (1973–1984). В составе экспедиций зоологических институтов Санкт-Петербурга и Киева участвовал в исследованиях в связи с аварией на ЧАЭС.



## КУСТИКОВА

### МАРИНА АЛЕКСАНДРОВНА,

кандидат технических наук, доцент на программах «Информационные системы для техносферной и экологической безопасности» и «Стандартизация и метрология в высокотехнологичном секторе экономики» Университета ИТМО (Санкт-Петербург). В 1980 г. окончила Ленинградский гидрометеорологический



## МАЮРОВА

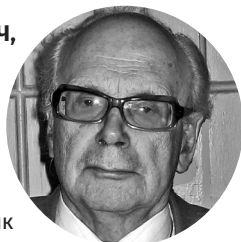
### АЛЕКСАНДРА СЕРГЕЕВНА,

окончила кафедру экологии и техносферной безопасности Университета ИТМО (Санкт-Петербург) в 2016 г., работает преподавателем на программе «Информационные системы для техносферной и экологической безопасности» и является аспирантом по направлению Геоэкология в Университете ИТМО.



**МЕНШУТКИН****ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ,**

доктор биологических наук, профессор. Родился в 1930 г. в Иркутске. В 1955 г. окончил Ленинградский кораблестроительный институт. Работал в ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. С 1959 г. – аспирант и научный сотрудник Лимнологического института Сибирского отделения Академии наук СССР. С 1964 г. по настоящее время – сотрудник Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, где с 1969 по 1999 г. заведовал лабораторией моделирования эволюции. С 1996 по 2004 г. – профессор Международного экологического центра (Польша, Варшава). С 2004 г. – главный научный сотрудник Экономико-математического института РАН. Основное направление работы – компьютерное моделирование физиологических, экологических и экономических систем и процессов биологической и технической эволюции. Автор 290 научных публикаций в отечественных и зарубежных журналах и 23 монографий, в том числе «Имитационное моделирование водных экологических систем» (1993), «Искусство моделирования. Физиология, экология, эволюция» (2010), «Эссе об эволюции сложных систем» (2012). Лауреат Государственной премии СССР (1971) и Премии и медали им. акад. Карпинского (2006).

**ПЕТРОВА****МАРИЯ ОЛЕГОВНА,**

старший научный сотрудник Центра биологической регламентации использования пестицидов Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений, кандидат биологических наук. В 1990 г. окончила Ленинградский сельскохозяйственный институт по специальности «ученый агроном по защите растений». Специалист в области хеморецепции насекомых (феромоны); изучения биологически активных веществ как возможных прототипов новых экологически безопасных препаратов для защиты растений; оценки биологической активности природных соединений; создания препаративных форм на основе БАВ. Автор более 60 научных работ.

**СЕЛИХОВКИН****АНДРЕЙ ВИТИМОВИЧ,**

доктор биологических наук, профессор. Родился в Ленинграде в 1955 г. В 1978 г. окончил лесотехническую академию (ныне Санкт-Петербургский государственный лесотех-



нический университет, СПбГЛТУ), а в 1984 г. – аспирантуру на кафедре энтомологии Ленинградского университета, защитив диссертацию. В 1994 г. защитил докторскую диссертацию в Зоологическом институте РАН. В настоящее время – заведующий кафедрой защиты леса и охотоведения СПбГЛТУ, профессор кафедры биогеографии и охраны природы Санкт-Петербургского государственного университета. Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, действительный член Шведской академии сельскохозяйственных и лесных наук, президент Русского энтомологического общества, член Экспертно-консультативного совета при Законодательном собрании Ленинградской области, Лауреат премии Правительства Санкт-Петербурга за выдающиеся достижения в области высшего и среднего профессионального образования 2012 и 2018 гг. Научные интересы: экология насекомых – дендрофагов, защита леса.

**ХОДАЧЕК****ОЛЕСЯ АЛЕКСАНДРОВНА,**

в 2013 г. окончила Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова (СПбГЛТУ им. С.М. Кирова) по специальности «Садово-парковое и ландшафтное строительство». В настоящее время является аспиранткой Института леса и природопользования СПбГЛТУ им. С.М. Кирова (направление: Лесное хозяйство).

**ЧЕРМЕНСКАЯ****ТАИСИЯ ДМИТРИЕВНА,**

ведущий научный сотрудник Центра биологической регламентации использования пестицидов Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений, кандидат биологических наук. В 1993 г. окончила Ленинградский технологический институт по специальности инженер-химик-технолог. Специалист в области: поиска и изучения биологически активных веществ природного происхождения с пестицидной активностью; разработки методов инструментального определения действующих веществ пестицидов в объектах окружающей среды, сельскохозяйственных растениях и продуктах питания; оценки состояния загрязнения пестицидами сельскохозяйственной продукции в разных почвенно-климатических зонах. Автор более 100 научных работ.



**ШМЕЛЕВ  
СТАНИСЛАВ ЭДУАРДОВИЧ,**

кандидат экономических наук, родился в 1977 г. в Ленинграде, окончил экономический факультет Санкт-Петербургского государственного университета в 2000 г., в 2003 г. защитил кандидатскую диссертацию «Эколого-экономическое моделирование региональных систем управления отходами» по специальностям математические методы в экономике и экономика природопользования. Имеет степень Магистра университета Фалмут, Великобритания. Стипендиат Европейской Комиссии (INTAS PhD Fellowship). Выпускник международной Британской программы «Lead International» (Лидеры в области окружающей среды и развития, 2007). Научные интересы лежат в области экологической экономики, устойчивых городов, макроэкономического моделирования, многокритериальной поддержки принятия решений, экологической политики, возобновляемой энергии, экосистем и биоразнообразия. Важнейшие результаты его исследований относятся к методам оценки устойчивости развития стран и городов, эмпирической оценке эффективности экологической политики, эколого-экономическим моделям принятия решений в возобновляемой энергетике и обращении с отходами. В 2013 г. Станислав Шмелев был назван в немецкой газете Ханделсблатт одним из четырех наиболее перспективных молодых экономистов мира. В настоящее время является директором компании Environment Europe Ltd (Оксфорд, Великобритания) и приглашенным лектором Университета Санкт-Гален, Швейцария. С 2003 г. по настоящее время занимает позиции приглашенного исследователя в Исследовательском институте устойчивости Европы (Вена) и в Открытом университете (Великобритания). Преподавал в университете Эссекса (Великобритания) и университете Букингема (Великобритания), работал в консалтинговой фирме в Оксфорде, работал в качестве старшего научного сотрудника в Институте изменений в окружающей среде Оксфордского университета. Был приглашенным профессором университетов Женевы, Версаля, Париж IX Дофин, Национального университета Колумбии, Казахского национального университета Аль Фараби, Европейского университета и университета ИТМО в Санкт-Петербурге. Консультировал в качестве эксперта международные организации ООН – UNEP (Программа ООН по окружающей среде), UNDP (Программа развития ООН), IUCN (Международный Союз охраны природы), такие университеты, как ВШЭ (Россия), Аль-Фараби (Казахстан), Университет Манчестера (Великобритания), Университет Восточной Англии (Великобритания), Открытый университет (Великобритания). Является членом Международного общества экологической экономики, Европейского общества экологической экономики. С 2012 г. регулярно организует летние и зимние школы по экологической экономике в Оксфорде, в которых участвовали представители 55 стран мира. Он автор публикаций в журналах Ecological Economics, International Journal of Sustainable



Development, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Sustainable Development, Cities, ПОЛИТЭКС, Биосфера, автор книги «Ecological Economics: Sustainability in Practice» («Экологическая экономика: устойчивость на практике», Springer, 2012), автор и редактор изданий «Sustainability in Practice: Interdisciplinary Approach» (Palgrave Macmillan, 2012), «Green Economy Reader» («Хрестоматия по зеленой экономике»), Springer, 2017) и «Sustainable Cities Reimagined: Multidimensional Assessment and Smart Solutions» («Представляя устойчивые города: многокритериальная оценка и умные решения», Routledge, 2019).

**ШМЕЛЕВА  
ИРИНА АЛЕКСАНДРОВНА,**

кандидат психологических наук, доцент. Окончила с отличием факультет психологии Ленинградского (Санкт-Петербургского) государственного университета, аспирантуру (1982) и докторантуру (2005) факультета психологии СПбГУ. С 2006 г. была доцентом кафедры Мировой политики факультета Международных отношений Санкт-Петербургского государственного университета, ведущим преподавателем новой магистерской программы «Международное сотрудничество в области окружающей среды и развития». В 2012 г. была назначена директором Института устойчивого развития. Была приглашенным лектором в Университете Фрибурга (Швейцария) и Университета Оснабрюка (Германия). В 2013 г. прошла курс повышения квалификации «Лидерство в области окружающей среды» в Университете Калифорнии в Беркли (США), в 2017 г. принимала участие в региональном семинаре ЮНЕСКО «Образование для устойчивого развития и города», регулярно выступает на крупных международных конгрессах и конференциях. С 2013 г. работает в Институте дизайнера и урбанистики Университета ИТМО, руководит Лабораторией устойчивого развития городов. Также с 2013 г. она является директором Автономной некоммерческой организации «Институт стратегии устойчивого развития», зарегистрированной в Санкт-Петербурге. Цель организации – продвижение идей устойчивого развития, сфера деятельности связана с организацией открытых лекций, круглых столов, консультаций. Ирина Александровна Шмелева – эксперт Программы развития ПРООН, член ряда российских и международных организаций, в том числе Петербургского психологического общества, Международной ассоциации кросс-культурной психологии (IACCP), Международного общества городских и региональных планировщиков (ISOCARP). Сфера ее научных интересов: устойчивое развитие городов, индикаторы и стандарты устойчивого развития, психологические и социологические исследования ценностей и устойчивое развитие, психология экологического сознания и поведения, психологические и социальные аспекты экологической политики, международное сотрудничество в решении глобальных экологических проблем, кросс-культурные и



кросс-национальные исследования. И.А. Шмелева – автор монографии «Психология экологического сознания» (СПб-ГУ, 2006), учебного пособия «Введение в профессию: психология» (СПб.: Питер, 2007; переиздание: Москва: Эксмо, 2010), автор статей в журналах Cross-Cultural Psychology Bulletin, Newsletter of International Association of Applied Psychology, International Journal of Sustainable Development, Sustainable Development, Cities, «Психологический журнал», «ПОЛИТЭКС», «Биосфера». Соавтор и редактор изданий «Sustainability in Practice: Interdisciplinary Approach» (Palgrave Macmillan, 2012), соавтор коллективных монографий «Green Economy Reader» («Хрестоматия по зеленой экономике», Springer, 2017) и «Sustainable Cities Reimagined: Multidimensional Assessment

and Smart Solutions» («Представляя устойчивые города: многокритериальная оценка и умные решения», Routledge, 2019). Принимала участие в организации международной конференции Российского отделения Международного общества экологической экономики «Глобализация, новая экономика и окружающая среда» в 2005 г. (Санкт-Петербург), международных семинаров «Устойчивые города» в Санкт-Петербурге в 2006 г. и Оксфорде в 2007 г., руководила российской частью международного проекта COMPON, поддержанного грантом National Science Foundation (США) в 2010 г. С 2012 г. – со-организатор летних и зимних школы по экологической экономике в Оксфорде в которых участвовали представители 55 стран мира.







Подписано в печать **30.05.2019.**  
Отпечатано в типографии «Лпринт»:  
**197374, Санкт-Петербург, ул. Сабировская, 37,**  
Тел.: **+7(812) 430-91-55.**  
Заказ № **19060022.** Тираж **700 экз.**  
**Цена свободная**