

Э. Г. Коломыц

УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС И УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА

*Экологические ресурсы
бореальных лесов*



НАУКА

E.G. Kolomyts

**CARBON BALANCE
AND SUSTAINABILITY
OF FOREST ECOSYSTEMS
UNDER GLOBAL
CLIMATE CHANGES**

*Ecological Resources
of Boreal Forests*

MOSCOW NAUKA 2020

Э. Г. Коломыц

**УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС
И УСТОЙЧИВОСТЬ
ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ
ПРИ ГЛОБАЛЬНЫХ
ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА**

*Экологические ресурсы
бореальных лесов*

МОСКВА НАУКА 2020

УДК 574
ББК 28.080.3
К61



*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
по проекту № 20-15-0001, не подлежит продаже*

Ответственный редактор

член-корреспондент РАН Г.С. Розенберг

Рецензент

член-корреспондент РАН А.А. Тишков

Коломыц Э.Г.

Углеродный баланс и устойчивость лесных экосистем при глобальных изменениях климата: Экологические ресурсы бореальных лесов / Э.Г. Коломыц; [отв. редактор Г.С. Розенберг]; Институт экологии Волжского бассейна РАН. – М. : Наука, 2020. – 423 с. – ISBN 978-5-02-040785-5.

На примере Волжского бассейна представлены прогнозные эмпирико-статистические модели углеродного баланса лесных экосистем в условиях меняющегося климата. Выполнены расчеты объемов содержания углерода в различных пулах бореальных и неморальных лесов. По глобальным климатическим моделям даны прогнозные оценки составляющих их углеродного баланса. Проведена количественная оценка экологических ресурсов лесных формаций, обеспечивающих устойчивость окружающей среды с помощью механизмов регуляции углеродного цикла. Описана адаптация лесных экосистем к изменениям климата через расчетные параметры их функциональной устойчивости. Представлены прогнозные карты углеродного баланса лесных формаций Волжского бассейна для сценариев потепления и похолодания, а также карты индексов их резистентной и упруго-пластичной устойчивости.

Для специалистов в области экологического моделирования и прогноза роли лесов в регуляции углеродного цикла и смягчении глобального потепления.

Kolomyts E.G.

Carbon Balance and Sustainability of Forest Ecosystems under Global Climatic Changes. Ecological resources of boreal forests/ E.G. Kolomyts; [Resp. Ed. G.S. Rozenberg]; Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS. – М. : Nauka, 2020. – 423 p. – ISBN 978-5-02-040785-5.

On the example of the Volga river basin, predictive empirical-statistical models of the carbon balance of forest ecosystems are presented under conditions of a changing climate. The carbon content in various pools of boreal and nemoral forests were calculated. The global climate models give prognostic estimates of the components of them carbon balance. A quantitative assessment of the ecological resources of forest formations that provide the environment sustainability through mechanisms of regulation of the carbon cycle is given. The adaptation of forest ecosystems to climate change is described through the calculated parameters of their functional sustainability. Forecast maps of carbon balance of forest formations of the Volga river basin for warming and cooling scenarios and maps for indexes of there resistant and plastic-elastic sustainability are presented.

For specialists in environmental modeling and forecasting the role of forests in regulation of the carbon cycle and mitigation of global warming.

ISBN 978-5-02-040785-5

© Коломыц Э.Г., 2020
© ФГУП Издательство «Наука»,
редакционно-издательское
оформление, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1	
ИДЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И СТРАТЕГИЯ НАУЧНОГО ПОИСКА	
1.1. К Парижскому Соглашению (2015) по изменению климата.....	15
1.2. Состояние проблемы изучения климатогенных изменений содержания углерода в наземных экосистемах	19
1.3. Ландшафтно-экологический подход к решению проблемы	22
1.4. Научно-методические предпосылки прогнозного анализа	24
1.5. Направление и задачи исследования	25
1.6. Методы и подходы, разработанные в ходе научного поиска	27
1.7. Методы картографирования базовых и прогнозных характеристик экосистем	30
1.8. Общая схема расчетов и оценок поглощения парниковых газов лесными экосистемами	32
Глава 2	
ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА И ЕГО ОКРУЖЕНИЯ	
2.1. Региональная биоклиматическая система и ее прогнозное значение.....	36
2.1.1. Исходный материал	36
2.1.2. Типизация климатических ниш растительности и почв с позиций их потенциальной устойчивости	42
2.1.3. О развитии механизмов адаптации лесных экосистем	47
2.1.4. Сравнительная оценка климатических ниш растительности и почвы.....	52
2.1.5. Верификация моделей дисконформности климатических ниш.....	56
2.2. Характеристика экспериментальных полигонов	61
2.3. Локальные и региональные объекты эмпирико-статистического моделирования.....	75
2.4. Ординация растительных формаций по коэффициенту увлажнения	86
Глава 3	
БИОТИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ И УГЛЕРОДЫЙ ЦИКЛ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ	
3.1. Общая схема функциональной перестройки лесных экосистем при изменениях климата.....	92
3.2. Первичная биологическая продуктивность и зонально-региональные закономерности ее распределения.....	97
3.3. Биопродуктивность в системе региональных ландшафтно-геофизических связей.....	102
3.4. Расчеты региональной первичной биопродуктивности по ландшафтно-геофизическим параметрам.....	107
3.5. Региональные сценарии изменения продуктивности в системе фоновых климатических колебаний	114

Глава 4

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ИНДЕКС NDVI КАК ИНДИКАТОР ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ПРОДУКТИВНОСТИ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ

4.1. Исходные положения	118
4.2. Объекты и методы исследования.....	119
4.3. Вегетационный индекс, фотосинтез и продуктивность	121
4.4. Экологические пространства растительности, продуктивности и вегетационного индекса	124
4.5. Общий эколого-географический анализ фотосинтетического потенциала бореальных лесов.....	129
4.6. Области доминирования максимальных значений вегетационного индекса...	131

Глава 5

МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА, СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА И ГИДРОТЕРМИКИ ПОЧВЫ В ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ

5.1. Расчет базовых дискретных параметров биологического круговорота.....	140
5.2. Расчет изменений содержания углерода в различных пулах и углеродных балансов лесных экосистем при потеплении и похолодании.....	145
5.3. Расчет гидротермических параметров почвы как исходных абиотических факторов регуляции углеродного цикла	156

Глава 6

ЭМПИРИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ КЛИМАТОГЕННОЙ ДИНАМИКИ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА

6.1. Имитация изменений биологического круговорота при термоаридном климатическом тренде.....	163
6.2. Эмпирическая имитация метаболизма при холодно-аридном тренде.....	176
6.3. Модели критических состояний маргинальных лесных сообществ у южной границы лесной зоны.....	177
6.4. Выводы.....	184

Глава 7

ЭМПИРИЧЕСКИЕ СЦЕНАРИИ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И СТОКА УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПРИ КЛИМАТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ

7.1. Объекты и задачи исследования	185
7.2. Процедура экологического эксперимента	187
7.3. Индикация годичного прироста скелетной древесно-кустарниковой фитомассы по зеленой массе травостоя.....	189
7.4. Имитационные модели экологических последствий климатических изменений	192
7.5. Экстремальная имитационная модель	196
7.6. Выводы.....	197

Глава 8

ПРОГНОЗНЫЕ СЦЕНАРИИ КЛИМАТОГЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

8.1. Идеология, стратегия и методы прогнозного исследования.....	198
8.2. Прогнозные климатические модели.....	201
8.3. Прогнозные сценарии преобразований локальных лесных экосистем при потеплении и похолодании.....	206
8.3.1. Климатическая модель HadCM3	206
8.3.2. Климатическая модель E GISS.....	212
8.4. Прогнозные оценки региональной биоклиматической системы Волжского бассейна	214
8.4.1. Методы регионального прогнозирования	214
8.4.2. Изменения ландшафтно-зональной структуры региона.....	216
8.5. Сценарии формирования и прохождения гидротермической волны	220
8.6. Современные аналоги прогнозируемых ландшафтно-экологических ситуаций при глобальном потеплении	228

Глава 9

ПРОГНОЗ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ И ИХ РОЛИ В ПОГЛОЩЕНИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА

9.1. Углеродные балансы лесных экосистем локального уровня	231
9.2. Углеродный баланс лесных формаций при потеплении и похолодании	245
9.3. Экологические ресурсы коренных и производных лесов Волжского бассейна	253
9.3.1. Эколого-ресурсный потенциал региональной биоклиматической системы	253
9.3.2. Экологические ресурсы реального лесного покрова	263
9.4. Углеродный баланс лесных формаций в системе их термоаридных преобразований	270
9.5. Картографические модели углеродного баланса лесных формаций.....	274
9.6. Углеродный режим лесов региона с экстремальной антропогенной трансформацией.....	279
9.6.1. Общая характеристика лесного покрова	279
9.6.2. Регуляция углеродного цикла лесным покровом	280
9.6.3. Территориальные обобщения картографического прогноза	282
9.7. Верификация прогнозных расчетов углеродного баланса	287
9.8. Виртуальное прогнозно-экологическое картографирование	292
9.9. Выводы.....	295

Глава 10

ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЕ И ПОЧВЕННЫЕ ПРИЗНАКИ СОВРЕМЕННОГО ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

10.1. Основные черты современного климатического тренда.....	297
10.2. Общие изменения в почвенно-растительном покрове	299
10.3. Фитоценотические изменения на Главном ландшафтном рубеже Русской равнины.....	303
10.4. Фитоэкологический эффект повышения нестационарности климата	308
10.5. Реакция зонального экотона леса и степи на современное глобальное потеп- ление.....	310
10.6. Выводы	320

Глава 11

УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ИХ УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС

11.1. Обзор известных методов оценок устойчивости гео(эко-)систем.....	321
11.2. Количественная оценка потенциальной устойчивости региональных гео- систем к гидротермическим сигналам	323
11.3. Локальные и региональные модели функциональной устойчивости лесных экосистем	331
11.3.1. Лабильная фитоценотическая устойчивость	332
11.3.2. Инерционная почвенно-биотическая устойчивость.....	337
11.3.3. Факторная ординация инерционной устойчивости лесных биогеоце- нозов в иерархической системе природных комплексов	341
11.3.4. Общая картина территориальной дифференциации устойчивости лесных формаций	345
11.3.5. Устойчивость лесных формаций в системе их зонально-климатиче- ской и мезокатенарной организации.....	354
11.4. Биотическая регуляция углеродного цикла и функциональные состояния лесных экосистем.....	360
11.5. К решению двуединой задачи адсорбции и адаптации	364
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	369
АВСТРАКТ	378
ЛИТЕРАТУРА	386
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	409
ОБ АВТОРЕ	414

CONTENTS

INTRODUCTION.....	5
Chapter 1	
IDEOLOGICAL BASES AND STRATEGY SCIENTIFIC SEARCH	
1.1. To the Paris Agreement (2015) on climate change	15
1.2. The state of the problem of studying climatogenic changes carbon content in terrestrial ecosystem.....	19
1.3. Landscape-ecological approach to problem solving.....	22
1.4. Scientific and methodological prerequisites for predictive analysis	24
1.5. Direction and objectives of the study.....	25
1.6. Methods and approaches developed in the course of scientific research.....	27
1.7. The general scheme for calculating and predictions the absorption of green- house gases by forest ecosystems	30
1.8. General scheme of calculations and estimates of adsorption of greenhouse gases forest ecosystems	32
Chapter 2	
LANDSCAPE-ENVIRONMENTAL SYSTEMS VOLGA RIVER BASIN AND HIS ENVIRONMENT	
2.1. Regional bioclimatic system and its forecast value	36
2.1.1. Source material	36
2.1.2. Typification of climatic niches of vegetation and soil in the terms of their potential sustainability	42
2.1.3. On the development of adaptation mechanisms of forest ecosystems	47
2.1.4. Comparative assessment of climatic niches vegetation and soil	52
2.1.5. Verification of models of climate niches disconformation.....	56
2.2. Characteristics of the experimental test sites.....	61
2. 3. Local and regional objects of empirical-statistical modeling	75
2.4. The ordination of plant formations by the humidity factor.....	86
Chapter 3	
BIOTIC CIRCULATION AND CARBON CYCLE IN FOREST ECOSYSTEMS	
3.1. The general scheme of functional restructuring of forest ecosystems during climate change	92
3.2. Primary biological productivity and zonal regional laws of its distribution	97
3.3. Bioproductivity in the system of regional landscape geophysical relationships	102
3.4. Calculations of regional primary bioproductivity landscape-geophysical para- meters.....	107
3.5. Regional scenarios of productivity change in the system of background climate	

fluctuations.....	114
Chapter 4	
VEGETATION INDEX NDVI AS AN INDICATOR PHYSIOLOGICAL BASIS OF BOREAL FOREST PRODUCTIVITY	
4.1. Assumptions	118
4.2. Objects and research methods.....	119
4.3. Vegetation index, photosynthesis and productivity.....	121
4.4. Ecological spaces of vegetation, productive and vegetation index	124
4.5. General ecologo-geographical analysis of photosynthetic boreal forest potential .	129
4.6. Areas of dominance of the maximum values of vegetation foot index	131
Chapter 5	
METHODS OF CALCULATIONS FOR BIOLOGICAL CYCLE CARBON CONTENT AND SOIL HYDROTHERMIC IN FOREST BIOGEOCOENOSES	
5.1. Calculation of basic discrete parameters of biological cycle.....	140
5.2. Calculation of carbon content changes in different pools and carbon balances of forest ecosystems during warming and cold spell	145
5.3. Calculation of hydrothermal parameters of the soil as the source abiotic factors of regulation of the carbon cycle	156
Chapter 6	
EMPIRICAL STATISTICAL IMITATION MODELS FOR CLIMATOGENIC DYNAMIC OF BIOLOGICAL CYCLE	
6.1. Imitation of changes in the biological cycle at thermoarid climate trend.....	163
6.2. Empirical imitation of cold-arid metabolism trend.....	176
6.3. Models of critical states of marginal forest communities at the southern boundary of the forest zone.....	177
6.4. Conclusions	184
Chapter 7	
EMPIRICAL SCENARIOS OF THE CHANGES OF PRODUCTIVITY AND CARBON DRAIN IN FOREST ECOSYSTEMS AT CLIMATIC VIBRATIONS	
7.1. Objects and objectives of the study	185
7.2. Environmental experiment procedure.....	187
7.3. Indication of the annual growth of skeletal wood shrub phytomass by green mass of grass stand.....	189
7.4. Simulation models of the environmental consequences of changes	192
7.5. Extreme simulation model	196
7.6. Conclusions	197
Chapter 8	
PREDICTIVE SCENARIOS OF CLIMATEGENIC TRANSFORMATIONS FOR FOREST ECOSYSTEMS	
8.1. Ideology, strategy and methods of predictive research.....	198

8.2. Main features of climate predictions.....	201
8.3. Forecast scenarios of forest ecosystem transformations with warming and cooling.....	206
8.3.1. Climate model HadCM3	206
8.3.2. Climatic model E GISS	212
8.4. Forecast estimates of regional bioclimatic Volga river basin systems.....	214
8.4.1. Regional forecasting methods	214
8.4.2. Changes in the landscape-zonal structure of the region	216
8.5. Hydrothermal wave passage scenarios	220
8.6. Modern analogs of projected landscape environmental situations with global warming	228

Chapter 9

PROGNOSIS OF CARBON BALANCE FOR FOREST ECOSYSTEMS AND THEIR ROLE IN ADSORPTION OF GREENHOUSE GASES UNDER CLIMATE CHANGES

9.1. Carbon balances of forest ecosystems of local level	231
9.2. The carbon balance of forest formations during warming and cooling	245
9.3. Ecological resources of primary and secondary forests of Volga river basin	253
9.3.1. Potential bioclimatic forest system resources	253
9.3.2. Resources of the real bioclimatic forest system	263
9.4. The carbon balance of forest formations in their thermoarid changes.....	270
9.5. Cartographic models of forest carbon balance formations	274
9.6. The carbon regime of the forests of the region with extreme anthropogenic transformation	279
9.6.1. General characteristics of forest cover	279
9.6.2. Regulation of the carbon cycle by forest cover.....	280
9.6.3. Territorial generalizations of cartographic forecast.....	282
9.7. Verification of carbon forecast calculations	287
9.8. Virtual environmental forecasting mapping.....	292
9.9. Some conclusions.....	295

Chapter 10

PHYTOCOENOTIC AND SOIL SIGNS MODERN GLOBAL WARMING

10.1. Main features of the current climate trend.....	297
10.2. General changes in land cover	299
10.3. Phytocoenotic changes at the main landscape line of Russian Plain	303
10.4. Phytocological effect of increasing nonstationarity climate	308
10.5. The reaction of the zonal ecotone of the forest and steppe to the global warming	310
10.6. Some conclusions.....	320

Chapter 11

STABILITY OF FOREST ECOSYSTEMS AND ITS INFLUENCE ON THEIR CARBON BALANCE

Contents

11.1. Review of known methods for assessing the sustainability of geo (eco-)systems	321
11.2. Quantifying potential stability of regional geosystems to hydro-thermal signals	323
11.3. Local and regional models of functional sustainability of forest ecosystems.....	331
11.3.1. Lab phytocenotic stability	332
11.3.2. Inertia soil-biotic resistance	337
11.3.3. Factor ordination inertia stability forest biogeocoenoses in the hierarchical system of natural complexes	341
11.3.4. The overall picture of territorial differentiation sustainability of forest formations	345
11.3.5. The stability of forest formations in the system of their zonal climatic and mesocatenary organization.....	354
11.4. Biotic regulation of the carbon cycle and functional state of forest ecosystems ..	360
11.5. To the solution of the two-pronged problem of adsorption and adaptation	364
CONCLUSION	369
ABSTRACT	378
REFERENCES	386
SUBJECT INDEX	409
ABOUT AUTHOR	414