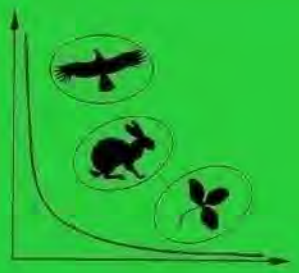
ISSN 2542-2006

Том *Volume* **8** **Номер** Number **3** **Сентябрь** September **2024**



ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
WATER PROBLEMS INSTITUTE
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА
ECOSYSTEMS: ECOLOGY AND DYNAMICS

Журнал освещает результаты фундаментальных исследований и прикладных работ по изучению состояния, закономерностей процессов и динамики в природных, антропогенно созданных и/или антропогенно нарушенных экосистемах любого ранга (от биотопа до биосферы), а также в отдельных компонентах этих экосистем (как живых, так и неживых) повсеместно: во всех природных зонах и ландшафтах, на суше и в водной стихии. Статьи соотвествующей тематики принимаются по следующим научным направлениям: география, биология, лесное и сельское хозяйство.

The journal highlights the results of fundamental and applied investigations on the study of the state, processes and dynamics in natural, anthropogenic and/or anthropogenically disturbed ecosystems of any scale (beginning from biotope and up to biosphere) as well as in separate components of those ecosystems (alive and lifeless) everywhere: in all natural zones and landscapes, on land and in the water. Papers on the related topics submitted to the journal should be related to the following branches of science: geography, biology, forest and agricultural management.

МОСКВА
MOSCOW

2024

WATER PROBLEMS INSTITUTE
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

ECOSYSTEMS: ECOLOGY AND DYNAMICS

Vol. 8, No. 3, 2024, September
Journal is founded in January 2017
Issued 4 times per year

Editor-in-Chief, Dr. geogr. Zh.V. Kuzmina

Editorial Council:
Corresponding member of the Russian Academy of Sciences V.I. Danilov-Danilyan,
Corresponding member of the Russian Academy of Sciences A.N. Gelfan
Academician of the Russian Academy of Sciences K.N. Kulik,
Corresponding member of the Russian Academy of Sciences V.V. Melikhov

Editorial Board:
M.V. Bolgov, E.I. Golubeva,T.V. Dikariova, N.G. Mazey, N.M. Novikova,
G.N. Ogureeva, E.I. Pankova, S.A. Podolskiy, A.S. Viktorov, M.F. Vundtsettel,
L.G. Yemelyanova

Executive Secretary:
E.I. Tobolova

Head of Editorial Office:
O.S. Grinchenko

Addresses of Editorial Offices:
Russia, 119333 Moscow, Gubkina str., 3, WPI RAS
Tel.: (499) 135-70-41. Fax: (499) 135-54-15
E-mail: dynamics-journal@yandex.ru
http://www.ecosystemsdynamic.ru

MOSCOW

2024

ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА

Том 8, № 3, 2024, сентябрь
Журнал основан в январе 2017 г.
Выходит 4 раза в год

Главный редактор
доктор географических наук
Ж.В. Кузьмина

Редакционный совет:
член-корреспондент Российской академии наук А.Н. Гельфан,
член-корреспондент Российской академии наук В.И. Данилов-Данильян,
академик Российской академии наук К.Н. Кулик,
член-корреспондент Российской академии наук В.В. Мелихов

Редакционная коллегия:
М.В. Болгов, А.С. Викторов, М.Ф. Вундцеттель, Е.И. Голубева, Т.В. Дикарева, Л.Г. Емельянова, Н.Г. Мазей, Н.М. Новикова, Г.Н. Огуреева, Е.И. Панкова, С.А. Подольский

Ответственный секретарь:
Е.И. Тоболова

Заведующий редакцией:
О.С. Гринченко

Адрес редакции:
Россия, 119333 Москва, ул. Губкина, д. 3, ИВП РАН
Телефон: (499) 135-70-41. Факс: (499) 135-54-15
E-mail: dynamics-journal@yandex.ru
http://www.ecosystemsdynamic.ru

Москва

2024

© Журнал основан в 2017 г.
Учрежден и издается
Институтом водных проблем Российской академии наук.
Журнал как сетевое издание зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций;
Свидетельство о регистрации: ЭЛ № ФС 77-68782 от 17.02.2017.
Журнал зарегистрирован в Национальном центре ISSN Российской Федерации,
в Национальном информационно-аналитическом центре России – ВИНИТИ,
а также в научных электронных библиотеках: РГБ (Российская государственная библиотека, rsl.ru), БЕН РАН (Библиотека по естественным наукам Российской академии наук), НЭБ, РИНЦ, КИБЕРЛЕНИНКА, Российская книжная палата.

The journal has been founded in 2017.
It was founded and published by the
Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences.
The Journal is registered in the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (in Roskomnadzor) as a web Media;
Certification Number is ЭЛ № ФС 77-68782 of 17.02.2017.
The Journal is registered in National centre ISSN of Russian Federation,
All-Russian Institute for Scientific and Technical Information (VINITI),
and also in scientific electron libraries, such as RSL (Russian State Library, rsl.ru), Library of Natural Sciences of RAS, National Electronic Library, Elibrary, Science Index, CYBERLENINKA, Russian Book Chamber.

Информация о журнале, правила для авторов располагаются на сайте
http://www.ecosystemsdynamic.ru

Information about Journal and Rules for authors are at the site
http://www.ecosystemsdynamic.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Том 8, номер 3, 2024 сентябрь

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Оценка роли лесного покрова Волжского бассейна в регуляции углеродного цикла и смягчении глобального потепления (прогнозное эмпирико-статистическое моделирование) [на русском; аннотация на русском и английском]
Э.Г. Коломыц 5-35

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ, ПОДДЕРЖАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Использование фотоловушек для исследования мелких млекопитающих на примере Зейского заповедника (Амурская область)
[на русском; аннотация на русском и английском]
Д.С. Чемирская, С.А. Подольский 36-51

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Карбонатные почвы: их свойства и положение в разных классификациях
[на русском; аннотация на русском и английском]
И.Н. Горохова, Е.И. Панкова 52-66

Calcareous Soils: Their Properties and Definition of Different Soil Classifications
[на английском; аннотация на английском и русском]
I.N. Gorokhova, E.I. Pankova 67-80

Видовая структура сообществ мелких млекопитающих (*Soricidae, Rodentia*) южной части Кольского полуострова
[на русском; аннотация на русском и английском]
Л.Г. Емельянова, А.С. Оботуров 81-91

Species Structure of Micromammals Communities (*Soricidae, Rodentia*) in the Southern Part of the Kola Peninsula
[на английском; аннотация на английском и русском]
L.G. Emelyanova, A.S. Oboturov 92-102

CONTENTS

Volume 8, Number 3, 2024 September

DYNAMIC OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

Assessment of the Role that Forest Cover of the Volga River Basin Plays in the Regulation of Carbon Cycle and Mitigation of Global Warming (Predictive Empirical-Statistical Modeling) [in Russian; Abstract is available in Russian and English]
E.G. Kolomyts 5-35

METHODS FOR STUDY, MAINTENANCE AND PRESERVATION OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

Camera Traps as a Way to Study Small Mammals Using the Example of the Zeya Nature Reserve (Amur Region) [in Russian; Abstract is available in Russian and English]
D.S. Chemirskaya, S.A. Podolsky 36-51

STRUCTURAL ORGANIZATION OF ECOSYSTEMS AND PATTERNS OF THEIR DISTRIBUTION

Calcareous Soils: Their Properties and Definition of Different Soil Classifications [in Russian; Abstract is available in Russian and English]
I.N. Gorokhova, E.I. Pankova 52-66

Calcareous Soils: Their Properties and Definition of Different Soil Classifications [in English; Abstract is available in English and Russian]
I.N. Gorokhova, E.I. Pankova 67-80

Species Structure of Micromammals Communities (*Soricidae, Rodentia*) in the Southern Part of the Kola Peninsula [in Russian; Abstract is available in Russian and English]
L.G. Emelyanova, A.S. Oboturov 81-91

Species Structure of Micromammals Communities (*Soricidae, Rodentia*) in the Southern Part of the Kola Peninsula [in English; Abstract is available in English and Russian]
L.G. Emelyanova, A.S. Oboturov 92-102

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2024, том 8, № 3, с. 5-35

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 502.53; 551.3; 551.509.58; 551.581.1

ОЦЕНКА РОЛИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА В РЕГУЛЯЦИИ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА И СМЯГЧЕНИИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ (ПРОГНОЗНОЕ ЭМПИРИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)

© 2024 г. Э.Г. Коломыц

Институт фундаментальных проблем биологии РАН
Россия, 142290, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2. E-mail: egk2000@mail.ru

Поступила в редакцию 10.08.2024. После доработки 30.0802024. Принята к публикации 01.09.2024.

Разработанные на примере лесных экосистем Волжского бассейна дискретные эмпирико-статистические модели описывают будущую картину биотической регуляции углеродного цикла в системе «лес–атмосфера» по двум климатическим сценариям: умеренному (по модели E GISS) и экстремальному (по модели HadCM3). По удельным и суммарным значениям углеродного баланса лесных экосистем Волжского бассейна проведена количественная оценка их экологических ресурсов, обеспечивающих положительную регуляцию углеродного цикла. На основе прогнозных моделей в каждом экорегионе выявлены определенные локальные ряды и зонально-региональные типы регуляции лесным покровом содержания CO_2 в атмосфере при развитии климатической термо-аридизации. Описана структура углеродных балансов для лесных биогеоценозов различных экорегионов. Сравнительный анализ углеродных параметров выполнен для двух условных типов лесных сообществ бассейна: восстановленных коренных лесов и реального лесного покрова (коренные + производные леса). Установлено, что замещение коренных лесов (хвойных, смешанных и широколиственных) производными (мелколиственными) приводит к общему и весьма значительному сокращению экологических ресурсов лесного покрова. Верификация прогнозных расчетных моделей углеродного баланса проведена по бореальным лесам Центральной Канады.

Результаты контрольных расчетов стока углерода в канадских лесах за период 1990-2001 гг. оказались достаточно близкими к прогнозным значениям углеродного баланса лесов Волжского бассейна на период до 2050 года только по экстремальной модели HadCM3. По виртуальным прогнозно-экологическим картам Окского бассейна дана оценка парциального вклада лесных формаций в биотическую регуляцию углеродного цикла, что может быть использовано в стратегии лесоразведения в ныне обезлесенных районах. Результаты данного анализа сделали определенный шаг на пути превращения концептуальных положений В.Г. Горшкова и А.И. Уткина об экологических ресурсах лесов в регуляции углеродного цикла в полновесную научно-методическую концепцию.

Ключевые слова: лесные экосистемы, бореальный пояс, коренные и производные леса, биологический круговорот, углеродные пулы, изменения климата, углеродный баланс, экологические ресурсы лесного покрова, регуляция углеродного цикла.

DOI: 10.24412/2542-2006-2024-3-5-35
EDN: APBQTP

Экологическая безопасность крупнейших по уровню развития экономических регионов нашей страны связана в значительной мере с проблемой сохранения и воспроизводства лесных ресурсов, прежде всего, на юге бореального и на севере суббореального пояса, т.е. в критических условиях зональных переходов от леса к степи. Особенно актуальной данная проблема становится в условиях начавшегося глобального потепления с его весьма разнообразными и подчас трудно предсказуемыми экологическими последствиями (Houghton et al., 1996). Лесной покров входит в число ведущих факторов устойчивости

континентальной биосферы (Швиденко и др., 2014), поэтому «… лес справедливо рассматривается как одно из наиболее действенных средств смягчения неблагоприятных последствий изменения климата» (Исаев, 2012, с. 17). Леса занимают более 49% площади земель России, что отвечает 20% общей площади лесного покрова планеты (Будыко, Хект, 1991). Российские леса обеспечивают свыше 90% стока углерода всех мировых бореальных лесов (Исаев, 2012). Основные территории таких лесов приходятся на северную часть умеренного пояса Русской равнины и на южную полосу Средней Сибири, где удельное содержание углерода достигает 120-150 т/га.

В последние десятилетия резко возросло число публикаций, в которых приводятся основные глобальные (а в некоторых случаях и региональные) прогнозные характеристики предстоящих и по существу уже начавшихся антропогенных изменений климата: температурных условий и атмосферного увлажнения, испаряемости и испарения, речного стока и других параметров (Будыко, 1980; Aber et al., 2001; Кондратьев и др., 2003). Однако как теоретические, так и палеопрогнозные разработки носят весьма обобщенный либо схематичный характер и нацелены главным образом на оценку будущего состояния биосферы как планетарной системы. Соответственно, и масштабы приведенных в них прогнозных карт составляют не более 1 : 30-40 000 000. Региональный уровень геофизических прогнозов остается еще слабо разработанным, что связано как с недостатком фактического материала, так и с самими методическими трудностями перехода от глобального гидроклиматического прогноза к региональному экологическому. Территория основного водосбора Волжского бассейна в этом отношении представляет благоприятное исключение. На эту центральную часть Русской равнины уже получен достаточно обширный банк гидроклиматической и геоботанической информации (Грибова и др., 1980; Албриттон и др., 2003), позволяющий оценить современные ландшафтно-экологические связи и их изменения в будущем.

В числе наиболее опасных последствий глобального потепления и общей климатической аридизации природной среды может оказаться необратимое ухудшение лесорастительных условий на обширных территориях южных маргинальных лесов умеренного пояса. Дальнейшая прогрессирующая климатическая аридизация может иметь катастрофические последствия для земной биоты в целом. Климатические прогнозы, основанные на сценариях техногенных выбросов парниковых газов в атмосферу, предполагают повышение за период с 1990 по 2100 гг. средней глобальной температуры поверхности Земли в пределах 1.4-5.8°С, что в 2-10 раз больше величины потепления, произошедшего в XX в. (Албриттон и др., 2003). Согласно Парижскому соглашению по изменению климата (Paris Agreement, 2015), во избежание глобальной экологической катастрофы необходимо принимать меры, чтобы потепление к 2050 году не превысило 1.5-2°С. Одной из этих мер является «достижение баланса между возникающими в результате деятельности человека парниковыми газами и их поглощением морями и лесами» (ст. 4 соглашения). Через процессы адсорбции парниковых газов необходимо оценить роль естественных экосистем в регуляции углеродного цикла и стабилизации окружающей среды. Задача поддерживать способность лесов выполнять функции по смягчению изменений климата с помощью механизмов биотической регуляции углеродного цикла входит в стратегию устойчивого управления лесами (Швиденко и др., 2017).

Оценка *возможностей лесов Волжского бассейна в смягчении климатических изменений, в т.ч. глобального потепления*, является одной из актуальных экологических проблем этого обширного региона – индустриального и демографического «ядра» нашей страны. Опыт реализации ландшафтно-экологического подхода к решению данной проблемы представлен в настоящем сообщении. Идеологической основой научного поиска стала выдвинутая В.Г. Горшковым (1995) и А.И. Уткиным (1995) новая экологически

ориентированная парадигма в учении о лесе. Речь идет об *экологических ресурсах лесного покрова* как его способности поглощать парниковые газы с помощью механизмов регуляции углеродного цикла при изменениях климата. Эта регуляция направлена на возвращение среды в оптимальное для лесных экосистем состояние и способствует сохранению относительной стабильности их продукционного процесса в меняющемся климате, что обеспечивает и устойчивость механизмов самой регуляции углеродного цикла как ведущего звена биологического круговорота.

Материалы и методы

Исходными материалами послужили карты растительности Европейской России (Исаченко, Лавренко, 1974; Котова, 1987) в масштабах 1 : 2-2.5 000 000 (рис. 1; табл. 1), а также результаты наших крупномасштабных (1 : 25-50 000) ландшафтных съемок в лесной зоне Волжского бассейна (Коломыц, 2018), которые были проведены в те же годы, когда создавались данные карты. Это было время окончания базового периода 1885-1986 гг., после которого, как известно из работы J.T. Houghton с соавторами (1996), началось современное глобальное потепление. Представленную геоботаническую карту (рис. 1) мы трактуем как *реальную биоклиматическую систему Волжского бассейна*. Она описывает современную лесную типологическую структуру данной территории, которая сформировалась в результате многовекового лесо- и землепользования и включает как коренные, так и производные лесные формации, а также лесные угодья.

Новейшие карты лесного покрова России, которые получены методами дистанционного зондирования лесов из космоса (Барталев и др., 2010; Исаев, 2012), невозможно было использовать. Выделенные на них «типы растительности» (хвойные вечнозеленые, лиственные, смешанные с преобладанием хвойных и т.п.) не соответствуют принятым в традиционной геоботанике понятиям «классы растительных формаций» и «типы растительности» (Сочава, 1979), на основе которых построена используемая нами классификация растительного покрова. Более того, в этой легенде не находят отражения важнейшие принципы фитоценологии и биогеоценологии (Сукачев, 1972), в т.ч. понятия коренных и производных ассоциаций, основополагающие в данном научном поиске.

Используемые нами картографические материалы не потеряли актуальности до настоящего времени. Установлено, что за период 1968-2008 гг. лесистость Европейской части России изменились всего на 6-8% (Исаев, 2012). Несущественно изменилась также породная структура лесов: доля хвойных пород снизилась на 4%, а доля мягколиственных увеличилась на 5%. Незначительно изменилось также соотношение площадей с различной возрастной структурой лесов.

На карте (рис. 1) показаны места расположения 8 экспериментальных полигонов, на которых была проведена одноразовая крупномасштабная ландшафтно-экологическая съемка по специально разработанной программе (Коломыц, 2018). В пределах каждого полигона на основе 40-53 пробных площадей выделялись 6 лесных биогеоценотических групп (табл. 2). Эти группы располагались по вектору локального ландшафтного сопряжения (микрокатены) – от водосборных элювиальных (Э) и трансэлювиальных (ТЭ) типов местоположений (МП) через склоновые транзитные (Т) и трансаккумулятивные (ТА) типы до долинных аккумулятивных (А) и супераквальных (СА; Полынов, 1956; Глазовская, 1964). Каждому типу МП соответствовал определенный набор типов леса. Таким образом, каждый полигон описывался некоторой *собирательной трансектой*, что обеспечило сопоставимость полученного фактического материала.

По определению Г.Н. Высоцкого (1960), среди биогеоценозов выделялась *плакорная группа* как локальный зональный представитель данного экорегиона.

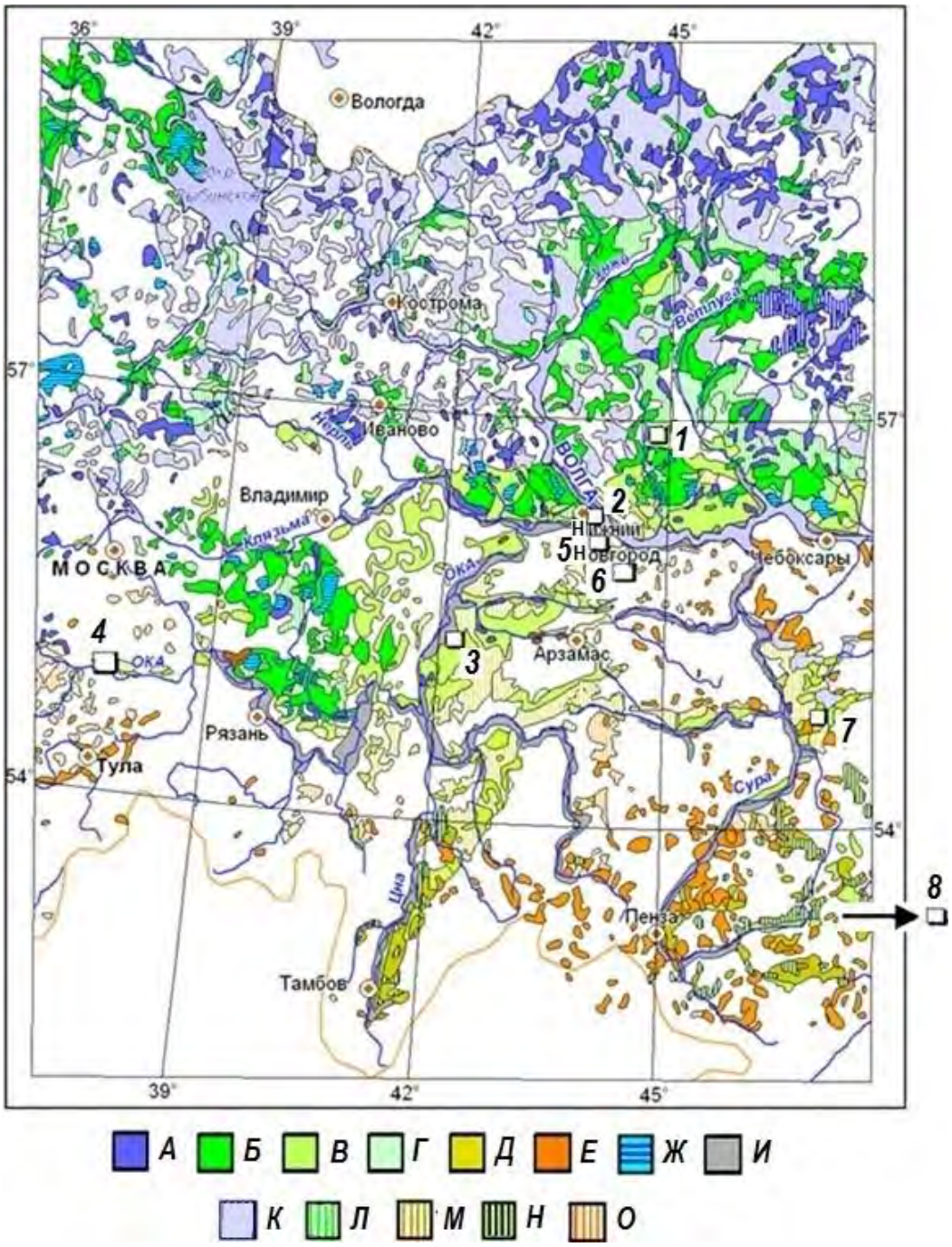


Рис. 1. Карта лесов Волжского бассейны (Котова, 1987) и расположение экспериментальных полигонов. *Условные обозначения.* Экспериментальные полигоны (Коломыц, 2018): 1 – Керженец (природный заповедник «Керженский»), 2 – Щелоковский Хутор, 3 – Зеленый Город, 4 – Выкса, 5 – Приокско-Террасный заповедник, 6 – Кудьма, 7 – Присурье (Национальный природный парк «Чаваш Вармане»), 8 – Жигули (Национальный природный парк «Самарская Лука»). Группы растительных ассоциаций: А-О – см. таблицу 1.

Fig. 1. Forest map of the Volga Basin (Kotova, 1987) and locations of the key plots. *Legend.* Key plots (Kolomyts, 2018): 1 – Kerzhenets (Kerzhinski Nature Reserve), 2 – Shchelokovsky Khutor, 3 – Zeleny Gorod, 4 – Vyksa, 5 – Prioksko-Terrasny Nature Biosphere Reserve, 6 – Kudma, 7 – Prisurye (Chuvash Forest National Park), 8 – Zhiguli (Samarskaya Luka National Park). Groups of plant associations: A-O – as shown in Table 1.

Таблица 1. Легенда к карте лесов Волжского бассейна (рис. 1; Котова, 1987).
Table 1. Legend to the Forest map of the Volga Basin (Fig. 1; Kotova, 1987).

Классы растительных формаций	**Зональные типы и группы растительных ассоциаций**	
	Символ и номер	**Краткая характеристика**
Коренные растительные сообщества		
А Еловые леса	1	Североевропейские среднетаежные еловые леса, кустарниково-зеленомошные и сфагновые (44а, 46)*
	2	Североевропейские южнотаежные еловые леса, кустарничково-травяные (48б, 49)
	3	Камско-печерские средне- и южнотаежные пихтово-еловые леса, кустарничково-зеленомошные и травяные (61, 62, 65)
	4	Североевропейские широколиственно-еловые подтаежные леса, сложные, неморальнотравяные (52б, 53, 54)
	5	Камско-печерские подтаежные пихтово-еловые леса, сложные, неморальнотравяные (68)
	6	Камско-печерские подтаежные широколиственно-пихтово-еловые леса, неморальнотравяные (69)
Б Сосновые леса	7	Восточноевропейские средне- и южнотаежные сосновые леса, с елью, кустарничково-зеленомошные (76, 76, 77, 78)
В Широколист-венно-сосновые леса	8	Подтаежные сосновые леса (с дубом и липой в подлеске), кустарничково-травяные (81, 81-1, 81-2, 81-3, 82)
	9	Широколиственно-сосновые подтаежные леса, сложные, местами с грабом или елью, чернично-разнотравно-злаковые (83, 84)
Г Лиственнично-сосновые леса	10	Средне- и южнотаежные сосновые леса с примесью лиственницы, зеленомошные, кустарничковые (92 а)
Д Остепненные сосновые леса	11	Восточноевропейские лесостепные и степные сосновые леса, со степными южноборовыми кустарниками, разнотравно-злаковые (87)
Е Широколиственные леса, а также леса в сочетании с лугово-ыми и разнотравно-ковыльными степями	12	Широколиственные дубовые, липово-дубовые и липовые леса, с примесью других широколиственных пород, неморальнотравяные (118, 120 а)
	13	Луговые степи в сочетании с широколиственными лесами
	14	Богато-разнотравно-типчаково-ковыльные степи с лиственным мелколесьем
Ж		Сфагновые южнотаежные и подтаежные верховые болота сосново-кустарничково-сфагновые (203, 204)
И		Бореальные и неморальные поймы – ивняки, заболоченные черноольховые, вязовые, осокоревые и дубовые леса (233 б, 234, 236 б)

Продолжение таблицы 1.

Классы растительных формаций	Зональные типы и группы растительных ассоциаций Краткая характеристика
Вторичные березовые и осиново-березовые леса на месте	
К	Южнотаежных пихтово-еловых лесов (48, 49)
Л	Средне- и южнотаежных сосновых лесов (79)
М	Подтаежных питово-еловых лесов (68)
Н	Степных сосновых лесов (88)
О	Широколиственных лесов (121)

Примечание к таблице 1: * – номера групп лесных ассоциаций на геоботанической карте.
Notes to table 1: * – numbers of the groups of the plant associations on the geobotanical map.

Остальные катенарные звенья отнесены к *экстра- и интразональным топоэкосистемам*, которые рассматривались как определенные представители других природных зон и регионов, нередко весьма удаленных. Таким образом, по всем экспериментальным полигонам были получены *региональные системы локальной зональности* (Коломыц, 2018). Были также измерены либо рассчитаны следующие фитомассы: *BS* – живая скелетная древесно-кустарниковая, *BV* – общая зеленая масса всех растительных ярусов, *BR* – общая масса корней, *WD* – мертвая древесно-кустарниковая фитомасса (дебрис), *ML* – масса лесной подстилки (опад+отпад+мор), *HU* – масса лабильного гумуса в горизонте A1. Расчеты живых фитомасс проводились по общим и региональным таблицам биологической продуктивности полных (нормальных) насаждений (Швиденко и др., 2008), для чего были использованы средний возраст и бонитет каждой породы – исходные параметры, полученные при таксации леса на пробных площадях. Параметры *WD, ML* и *HU* были получены эмпирически. Переход от фитомасс к содержанию в них углерода осуществлен с помощью известных в литературе углеродных коэффициентов.

Сравнительная количественная оценка экологических ресурсов лесных формаций Волжского бассейна проведена по удельным и суммарным значениям их *углеродных балансов при прогнозируемых сценариях изменений климата*. Оценивались экологические ресурсы двух категорий леса – коренных и производных. Основные прогнозные климатические сценарии взяты по модели E GISS (Hansen et el., 2007) из семейства моделей общей циркуляции атмосферы AOGCMs. Эта модель дает пределы климатических изменений, соответствующие целям Парижского соглашения (Paris Agreement, 2015). В бореальном поясе бассейна к 2150 году ожидается повышение средней июльской температуры на 0.5-0.7°C со снижением годового коэффициента атмосферного увлажнения Высоцкого–Иванова ($К_{увл}$) с 1.15-1.52 до 1.00-1.36, что указывает на климатическую аридизацию. Данный прогнозный срок рассматривался безотносительно к его временной привязке, т.е. был использован как модель для ответа на вопрос «что будет, если…».

Однако существующий в настоящее время тренд потепления способен привести к повышению средней глобальной температуры на 4°C уже к концу XXI века (Le Quere et al., 2015). При этом региональное потепление в России может составить порядка 6-11°C (Швиденко и др., 2017). Оно адекватно климатическому прогнозу, который дает известная экстремальная модель HadCM3, версия A2 (Pope et al., 2000), со снижением в бореальном поясе $К_{увл}$ с 1.29-1.37 до 0.78-0.75, т.е. до уровня южной лесостепи (Коломыц, 2018). Аналитические и картографические результаты проведенных нами по данной модели прогнозных ландшафтно-экологических исследований Волжского бассейна (Коломыц, 2005) описывают вполне вероятную картину резко выраженной аридизации природной среды в этой части Восточноевропейского субконтинента на ближайшие 100-200 лет.

Таблица 2. Краткая характеристика лесных топоэкосистем некоторых экспериментальных полигонов в Волжском бассейне.
Table 2. Brief characterization of the topological forest ecosystems from some of the key plots in the Volga Basin.

№ групп биогео-ценозов	Экорегионы (зональная принадлежность)		
	Приочье. Приокско-Террасный заповедник (южная граница подтаежной зоны)	**Присурье. Национальный природный парк «Чаваш Вармане (средняя лесостепь)**	**Жигули. Национальный природный парк «Самарская Лука» (южная граница южной лесостепи)**
1	Ксероморфные и мезо-ксероморфные березово-сосновые с липой леса плосковыпуклых междуречий и верхних частей склонов	Мезо-ксероморфные сосняки и елово-сосновые леса плоских водосборов и выпуклых склонов песчаной равнины	Ксероморфные остепненные сосняки верхних и средних частей крутых (20-30°) солнцепечных склонов
2	Мезо-гидроморфные еловые, сосново-еловые и елово-сосновые леса, элювиальные и трансэлювиальные, кислично-зеленомошные, на моренных отложениях	Мезоморфные сосново-широколиственные и осиновые леса плоских водосборов и склонов моренной равнины	Ксеро-мезоморфные сосняки сложные липово-дубовые и сосново-широколиственные леса верхних и средних частей крутых (до 20-25°) нейтральных и теневых склонов
3	Мезоморфные и ксеро-мезоморфные сосново-липово-дубовые и сосново-липовые леса, с широким диапазоном местополо-жений (от Э до ТА), на элювии известняка	Мезоморфные дубово-липовые и осиновые леса полого наклонных суглинистых водосборов (плакоров)	Мезоморфные и ксеро-мезоморфные дубняки и производные от них осинники нейтральных и теневых склонов средней и высокой крутизны
4	Мезоморфные и мезо-ксероморфные липово-березовые леса, с осиной, а также березняки и осинники, с дубом, липой и елью, на верхних и средних частях склонов	Мезо-гидроморфные ельники и сосняки слабо дренируемых междуречных понижений и высокой поймы	Гидро-мезоморфные и мезоморфные вязово-кленово-липовые и осиновые леса полого наклонных водосборов (плакоров)
5	Мезо-гидроморфные ельники, а также сосново-еловые и елово-сосновые леса, на средних и нижних частей склонов, на делювии известняка и суглинистой морене	Мезо-гидроморфные елово-липовые дубравы и сосново-березовые леса полого-вогнутых склонов песчано-суглинистых междуречий	Мезоморфные и мезо-гидроморфные дубово-вязово-липовые и осиново-березовые леса средних и нижних частей склонов высокой крутизны (20-30°)
6	Гидроморфные, заболоченные сосняки, ельники, березняки, черноольшаники, в речных долинах и западинах	Гидроморфные (заболоченные) сосняки, с елью и березой, междуречных западин моренной и песчаной равнин	Мезоморфные и мезо-гидроморфные липняки, кленовники и осинники днищ глубоко врезанных долин малых водотоков

Для оценок изменений содержания углерода в различных биотических компонентах использовался известный лесоводственный метод (Морозов, 1926; Цельникер, 2006), основанный на динамике живых и мертвых фитомасс. Изменение массы потока углерода $\Delta C(Fa)$ в системе «почва–растение–атмосфера» рассчитывалось по следующей формуле:

$$\Delta C(Fa) = \Delta C(WD) + \Delta C(ML) + \Delta C(HU) - \Delta C(BS) - \Delta C(BV) - \Delta C(BR) \quad (1).$$

Далее представлены углеродные пулы, содержащиеся в вышеупомянутых фитомассах.

По балансовому уравнению (1) рассчитывались возможные изменения потоков углерода между почвенно-растительным покровом и атмосферой в различные прогнозируемые сроки для каждой группы лесных биогеоценозов во всех рассматриваемых экорегионах Волжского бассейна. Алгоритмы расчетов изложены в предыдущей работе Э.Г. Коломыц (2018). Каждый член правой части уравнения (1) может иметь как положительные, так и отрицательные значения. При положительных величинах первые три слагаемые дают прибавку эмиссии CO_2 из почвенно-растительного покрова в атмосферу, а вторые – убыль этого потока. В данном случае пул мортмассы выступает в качестве дополнительного источника углерода, а живая фитомасса играет роль его стока (депонирования). При отрицательных же значениях указанных параметров картина обратная. В итоге складывается *общий баланс изменений углеродного обмена между биогеоценозами и атмосферой* [$\pm\Delta C(Fa)$], который показывает, поглощает ли данная группа лесных биогеоценозов *дополнительное количество* CO_2 из атмосферы в результате климатогенных сдвигов в биологическом круговороте или, наоборот, становится источником его *дополнительных же выбросов*. При термо-аридном климатическом сигнале в первом случае осуществляется отрицательная обратная связь, направленная на выполнение принципа Ле Шателье (Горшков, 1995) по стабилизации или даже ослаблению первичного сигнала, а во втором – связь положительная, которая ведет к усилению парникового эффекта атмосферы, а следовательно и самого потепления. Были получены парциальные (по отдельным пулам-фитомассам) и суммарные значения базового содержания углерода и прогнозирумые углеродные балансы для каждой группы лесных биогеоценозов каждого экспериментального полигона.

Термо- и гидроэдафическая ординация метаболических характеристик лесных локальных экосистем проведена по двум геофизическим параметрам: температуре почвы на глубине 50 см (t_{50}) и запасам летней продуктивной влаги в слое 0-50 см. С этими параметрами функциональные характеристики лесных сообществ обнаруживают наиболее тесные связи. Фрагмент расчетных формул представлен в таблице 3. Корреляционные связи в этих уравнениях не всегда достаточно высоки (коэффициент детерминации R^2 меняется от 0.25-0.30 до 0.65-0.70), хотя и вполне значимы (критерий Пирсона $P = 1.0 - 2.5 \cdot 10^{-4}$). Как известно из работы D.C. Montgomery и E.A. Peck (1982), при описании сложных многокомпонентных биологических систем неизбежны нарушения базовых принципов статистического анализа. В частности, не соблюдается линейная независимость предикторов, а коэффициенты корреляции и детерминации не могут быть высокими. Диссимметризация и дробление гидротермических ниш лесов с преимущественно пуассоновским характером распределения биогеоценотических единиц указывают на сложный, дифференцированный в пространстве процесс их климатогенных преобразований (Коломыц, 2018).

Локальный разброс выделенных по уравнениям гидротермической ординации метаболических характеристик в значительной степени элиминировался при зонально-региональном обобщении результатов топологической ординации. Тем самым более отчетливо проявлялся постоянно действующий и однонаправленный гидротермический сигнал.

Для получения базовых и прогнозных углеродных характеристик лесных формаций был осуществлен переход с локального уровня операционных единиц на региональный с помощью разработанного нами *метода индукционно-иерархической экстраполяции*. Он основан на упомянутом выше явлении *полизональности локальных экосистем* как формы их реакции на глобальные изменения климата. Каждый зонально-региональная

фитоценологическая единица, представленная на мелкомасштабной геоботанической карте (Котова, 1987), идентифицировалась определенной группой конформных фитоценозов, взятых из плакорно-экстразональных рядов биогеоценозов по всем полигонам. В свою очередь, каждый экорегион, описываемый тем или иным экспериментальным полигоном, содержал целый спектр локальных представителей различных зонально-региональных фитоценологических систем ранга растительных формаций, согласно В.Б.Сочаве (1979).

Таблица 3. Фрагменты расчетной системы, описывающей связи параметров биологического круговорота с температурой и влагосодержанием почвы в вегетационный период в биогеоценозах экорегионов Среднего и Верхнего Поволжья. **Table 3.** Fragments of a calculation that describes the relationships of biological cycle parameters with soil temperature and soil moisture during vegetation period in biogeocenoses in the ecological regions of the Middle and Upper Volga Regions.

Вид модели (расчетная формула)*	Региональные экосистемы (рис. 1)	Параметры	Коэффициенты			Статистические характеристики**		
			b_0	b_1	b_2	R	P	S_y
$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$	Присурье	*BV*	21.93	–0.7415	**–0.7135**	0.664	0	3.09
		HU	5.99	0	**55.75*** **	0.696	0	20.29
	Зеленый Город	*BR*	8.712	5.838	**–0.0678**	0.582	$0.1\cdot10^{-3}$	17.92
		HU	16.34	–0.2402	**0.07426**	0.713	0	
$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2$	Щелоковский Хутор	*WD*	642.1	–114.7	5.142	0.936	0	2.21
$y = b_0 + b_1x_2 + b_2x_2^2$	Жигули	*ML*	44.08	–0.3611	0.00091	0.699	0	17.75
	Щелоковский Хутор	*BS*	–34.93	0.9472	0.00403	0.769	0	90.49
		HU	12.5	0.1712	0	0.649	0	9.31
	Керженец	*WD*	22.85	–0.2588	0.00149	0.72	0	12.78
		HU	8.84	0.0091	0.0006	0.851	0	8.03
	Приокско-Террасный заповедник	*BS*	244.6	0.3956	–0.00312	0.557	$0.7\cdot10^{-3}$	71.4
		HU	25.31	0.0159	0.00042	0.577	$0.4\cdot10^{-3}$	16.32
$y = \exp(b_0 + b_1/x_1)$	Жигули	*BS*	3.706	15.42	–	0.611	0	39.3
		BR	1.768	26.26	–	0.614	0	12.25
	Зеленый Город	*ML*	0.0845	35.08	–	0.506	0	16.0
		WD	–4.389	64.63	–	0.642	0	7.0
	Выкса	*ML*	0.3274	46.81	–	0.798	0	0.34

Примечания к таблице 3. *Расчетная формула: *x1* – температура почвы на глубине 50 см (*t50)*; *x2* – запасы продуктивной влаги в слое 0-50 см (*W-50*); *x3* – средневзвешенный (по массе древесины различных пород) возраст леса. **Статистические характеристики: R – коэффициент корреляции, P – уровень значимости (критерий Пирсона), Sy – стандартное отклонение. ***Жирный шрифт – коэффициенты при значимых аргументах в уравнениях множественной регрессии. **Notes to table 3.** *Equation: *x1* – soil temperature at 50 cm depth (*t50)*; *x2* – productive moisture reserves in a 0-50 cm layer of soil (*W-50*); *x3* –weighted average forest age (by mass of wood of different species). **Statistical features: R – correlation coefficient, P – significance level (Pearson's test), Sy – standard deviation. ***Bold font marks coefficients at significant arguments in epy multiple regression equations.

Одновременно создавалась карта мезоместоположений (Э, ТЭ, и т.д.), по которым выделялись *группы ландшафтов*. Каждый ареал данной фитоценологической единицы,

представленный как *поливекторное множество мезокатен*, дробился на региональные типы местоположений (группы ландшафтов). Принимая далее, согласно концепции ландшафтных сопряжений (Полынов, 1956), мезокатену в качестве гомоморфного образа микрокатены, мы разносили имеющиеся биогеоценозы всех выделенных групп из каждого экспериментального полигона по мезоместоположениям соответствующего ему геоботанического ареала. Полученная таким образом региональная фито-катенарная мозаика насыщалась затем значениями ΔC(*Fa*) каждой группы биогеоценозов, взятых уже в качестве локальных представителей соответствующих зонально-региональных типов/подтипов географической среды. Наконец, на основе информационного анализа по каждой группе растительных формаций бассейна рассчитывались средневзвешенные значения ΔC(*Fa*) в соответствии с площадной долей ее участия в данном зональном типе формаций.

На территорию Окско-Волжского бассейна Л.С. Шарой составлены карты-матрицы базового суммарного содержания углерода, а также углеродного баланса лесных формаций для термо-аридного климатического сценария по модели E GISS (рис. 4, 5). При построении карт были использованы спутниковые данные NASA о рельефе – матрицы высот земной поверхности, полученные в ходе выполнения проекта SRTM30 «США–Италия–Германия». Матрицы были преобразованы в равнопромежуточную проекцию Каврайского для Европейской России с шагом 900 м. Карты создавались по широкому набору характеристик рельефа (Shary et al., 2002), рассчитанных из матриц высот NASA SRTM30 и оцифрованных топокарт. С этой целью создавались верифицированные пространственные модели модифицированных типов местоположений. Статистический анализ проводился с помощью адаптированного для экологии метода множественной регрессии (Шарый, Пинский, 2013). Предварительно осуществлялся статистический анализ параметра ΔC(*Fa*) на прогнозные сроки для групп растительных формаций и их сочетаний с помощью программы «Аналитическая ГИС Эко» (Шарый, 2001).

Результаты и обсуждение

Углеродные балансы лесных экосистем локального уровня. При устойчивых изменениях климата наибольшие по абсолютному значению вариации должен испытать автотрофный биогенез, дающий зеленую массу, а также древесную надземную (*BS*) и корневую фитомассы. Приоритетный же вклад в изменения суммарных запасов углерода ΔC(*Fa*) будет вносить динамика прироста древесины (табл. 4; рис. 2). В соответствии с климатическим прогнозом по экстремальной модели HadCM3, к 2150 году значения параметра ΔC(*BS*) составят от –(37-40) т/га в плакорных и трансаккумулятивных липняках Жигулевского массива до +(58-71) т/га в трансэлювиальных хвойно-широколиственных лесах Нижегородского Предволжья (экорегион «Зеленый Город»). Величины экстремальных значений общего углеродного баланса ΔC(*Fa*) будут равны –(78-83) и +(115-120) т/га. Таков возможный размах изменений потока углерода, вызванных неоднозначной реакцией бореальных и неморальных лесов на экстремальный термо-аридный климатический сигнал.

Если за текущий столетний период средняя температура июля в Среднем и Верхнем Поволжье вырастет, согласно экстремальной модели HadCM3, на 4-6°C, то содержание углерода, законсервированного в скелетной фитомассе лесов данного региона, может измениться на ±(25-50)% от базовой величины. Это указывает на весьма существенную регулирующую роль, которую должна сыграть продуктивность южнотаежных, смешанных и неморальных лесов региона в их углеродном обмене с атмосферой при крайне резких климатических вариациях, в т.ч. при сценарии катастрофического антропогенного потепления, что недопустимо по Парижскому Соглашению (Paris Agreement, 2015).

Однако такая ситуация может оказаться вполне реальной, судя по современной траектории роста температуры. Глобальное потепление вызовет в одних случаях резкое падение продуктивности, в других – столь же значительное ее увеличение, что обрисует весьма противоречивую экстремальную картину биотической регуляции углеродного цикла.

Таблица 4. Изменения удельного содержания углерода (т/га) в различных лесных биогеоценозах и в их органических компонентах на трех особо охраняемых природных территориях Окско-Волжского бассейна для глобального потепления на срок до 2150 г., согласно умеренной климатической модели E GISS. **Table 4.** Changes in specific carbon content (t/ha) in different forest biogeocenoses and their organic components in 3 specially protected natural areas of the Oka-Volga Basin for the global warming forecast up to the year of 2150, according to the moderate climate model E GISS.

Характеристики		**Южная граница лесостепной зоны (Национальный парк «Самарская Лука»)**	**Средняя (типичная) лесостепь (Национальный парк «Чаваш Вармане»)**	**Южная граница подтаежной зоны (Приокско-Террасный заповедник)**
Группы биогеоценозов (типы местоположений, см. рис. 2)	1 (ТЭ)	–12.23 [–]*	90.29 [+]	29.46 [+]
	2 (ТЭ, Э)	–38.72 [–]	63.60 [+]	–0.44 [–]
	3 (Э. Т)	–27.76 [–]	**–32.51**** [–]	**–27.82** [–]
	4 (Э–ТА)	**–58.88** [–]	31.82 [+]	29.01 [+]
	5 (ТА, А)	–65.03 [–]	27.24 [+]	11.35 [+]
	6 (СА, ЭА)	–35.79 [–]	63.65 [+]	11.82 [+]
	Среднее	–39.74 [–]	40.68 [+]	8.90 [+]
Фитомассы (углеродные пулы)	*BS*	–22.93 [–]	21.69 [+]	6.17 [+]
	BV	–1.14 [–]	0.12 [+]	–0.08 [–]
	BR	–5.11 [–]	5.23 [+]	2.19 [+]
	ML	1.38 [+]	–3.12 [–]	0.29 [+]
	WD	–5.36 [–]	28.62 [+]	0.74 [+]
	HU	–6.52 [–]	–11.85 [–]	–0.42 [–]
	Сумма	–39.74 [–]	40.68 [+]	8.90 [+]

Примечания к таблице 4: [–]* – отрицательная регуляция углеродного цикла с усилением термо-аридизации, [+] – положительная регуляция и соответствующее смягчение термо-аридного климатического тренда, жирный шрифт** – плакорные биогеоценозы. **Notes to table 4:** [–]* – negative regulation of the carbon cycle, with increasing thermal aridization, [+] – positive regulation and corresponding mitigation of the thermal arid climate trend, bold font** marks upland biogeocenoses.

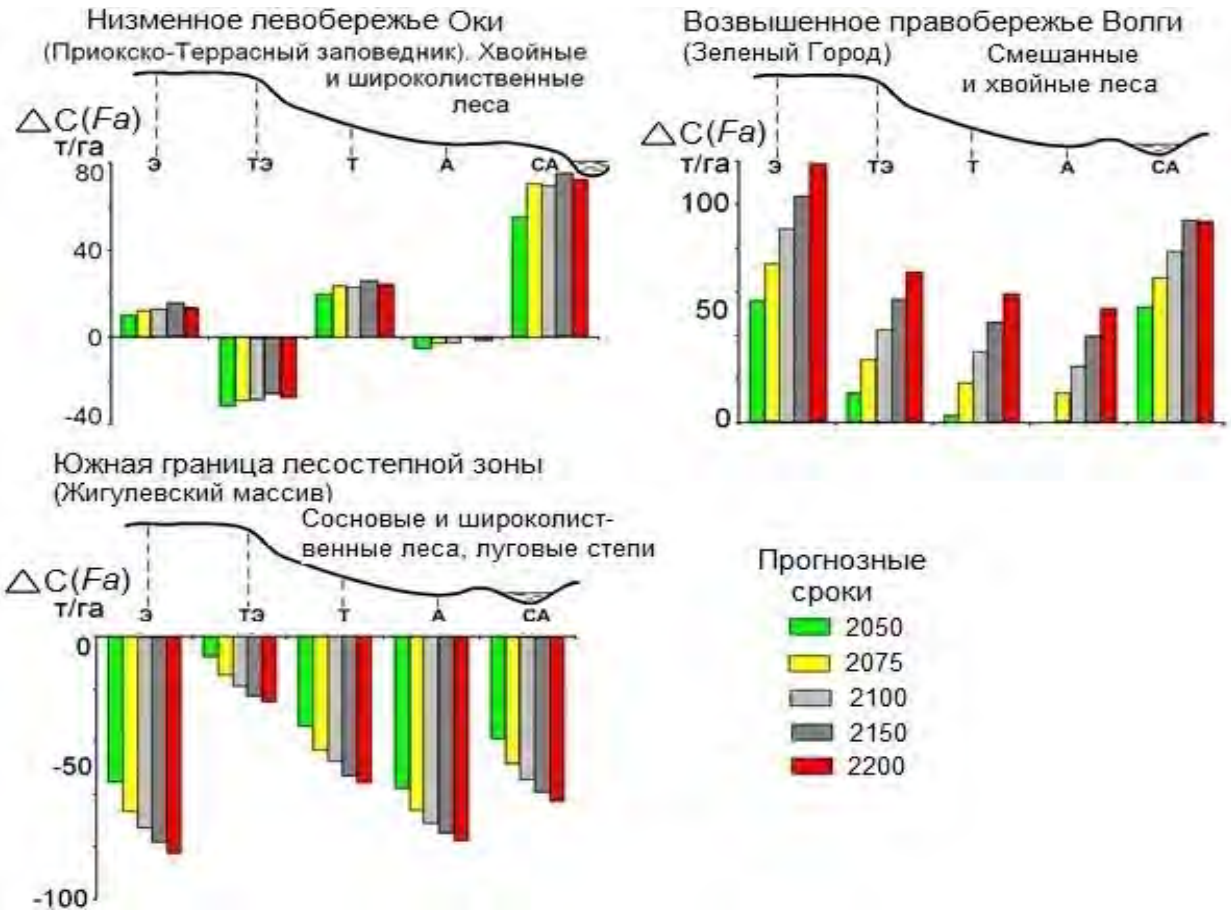


Рис. 2. Распределение углеродных балансов лесных экосистем различных экорегионов Волжского бассейна по типам местоположения в системе локальных ландшафтных сопряжений при глобальном потеплении, согласно экстремальной модели HadCM3.
Fig. 2. Distribution of carbon balance in forest ecosystems of different ecological regions throughout the Volga Basin by their location in the system of local landscape conjugations under global warming, according to the extreme model HadCM3.

Согласно экстремальной модели HadCM3, процесс глобального потепления должен привести к развитию в Средней полосе Русской равнины двух взаимно противоположных феноменальных явлений биотической регуляции углеродного цикла со стороны плакорных и близких к ним лесных биогеоценозов как локальных представителей растительных формаций. Крайний юг лесной зоны, в т.ч. зональный экотон леса и степи в Средневолжской части равнины, окажется ареной значительной дополнительной эмиссии CO_2 в атмосферу. В лесах Жигулевского низкогорного массива общие потери углерода в последнюю четверть XXI века составят более 35% от запасов базового периода. Наибольшая эмиссия CO_2 будет связана с плакорными широколиственными лесами (рис. 2). В прогнозируемый срок глобального потепления эти местоположения, а также днища малых долин будут отличаться максимальной эмиссией CO_2. На крутых склонах изначальные запасы углерода минимальны, однако и прогнозируемые его выбросы будут незначительны.

Аналогичный негативный процесс, правда, в гораздо меньшей степени, распространится также на среднюю (типичную) лесостепь (экорегион Присурье) и достигнет коренных смешанных лесов воноледниковых равнин в южной подтайге (Приокско-Террасный заповедник, далее – ПТЗ), с потерей в пуле древесины до 29 т/га углерода к концу XXI века. В итоге расстроится сбалансированность углеродного цикла как стабилизирующий механизм состояния наземных экосистем. Это вызовет местное усиление парникового эффекта

атмосферы и ускорит общий процесс деградации и исчезновения маргинальных лесов в южной и типичной лесостепи.

При умеренном климатическом тренде по сценарию модели E GISS к концу XXI столетия описанный процесс в плакорных жигулевских дубравах, присурских липняках и сосново-дубово-липовых лесах Приочья будет идти значительно медленнее, судя по суммарной величине $\Delta C(Fa) = -(28\text{-}33)$ т/га.

Второе феноменальное явление с преимущественно положительной регуляцией углеродного цикла будет распространено в возвышенно-равнинных смешанных лесах неморальнолесной подзоны (экорегион «Зеленый Город» на возвышенном Правобережье) и в меньшей степени – на южной границе подтайги (гумидный экорегион ПТЗ). Здесь произойдет существенное увеличение продуктивности, особенно значительно в ТЭ ксероморфных и СА гидроморфных бореальных лесах, которые сыграют роль основного стока углерода (табл. 4). Плакорные вторичные березово-осиновые леса с липой, дубом и елью, обладающие более значительным приростом древесины и более высоким годичным оборотом надземной фитомассы по сравнению с коренными лесами, будут осуществлять положительную регуляцию, поглощая из атмосферы дополнительно до 20-22 т/га углерода. Одновременно ожидается активизация разложения мортмассы и гумуса, что несколько снизит положительный для углеродного баланса эффект роста продуктивности лесов.

В южной полосе смешаннолесной зоны Низменного Заволжья (экосистема Керженец) принцип Ле Шателье будет соблюдаться только за счет мезо-ксероморфных ТЭ сосняков. В определенной степени он проявится в переувлажненных хвойных лесах нижних звеньев катен, где улучшение гидротермических условий почвы вызовет значительный рост продуктивности, в т.ч. скелетной фитомассы. В то же время у плакорных елово-сосновых и елово-дубово-липовых сообществ автотрофный биогенез станет ослабевать на фоне резкого усиления процессов разложения наземной мортмассы и гумуса, что вызовет здесь общую тенденцию отрицательной биотической регуляции.

Итак, о*сновную положительную регуляцию углеродного обмена наземных экосистем с атмосферой, направленную на снижение ее парникового эффекта при глобальном потеплении, будут выполнять широколиственно-еловые и темнохвойные леса возвышенных равнин в неморальнолесной подзоне и в меньшей степени в южной полосе подтаежной зоны.* Второстепенную роль сыграют вторичные мелколиственные леса низменных плакоров, а также трансаккумулятивные и супераквальные сосняки низменно-зандровых полесий ($\Delta C(Fa) \approx 20\text{-}30$ т/га, полигоны Выкса и Керженец). Это, пожалуй, единственная группа формаций бореальных лесов, которая окажет существенную поддержку устойчивости континентальной биосферы в условиях глобального потепления. К примеру, установлено, что продуктивность таежных и подтаежных лесов Европейской России в период начавшегося современного глобального потепления (1956-1993 гг.) возросла от 0.25-0.65% до 1.15-1.45% в год, что означало увеличение запаса древостоя за 100-летний период в 1.5-2 раза (Книзе и др., 2000). Регулирующая роль известных и весьма распространенных теневых широколиственных лесов Поволжья будет иметь однозначно негативных характер.

Результирующий эффект регуляции углеродного цикла со стороны лесного покрова зависит не только от удельных значений углеродного баланса $\Delta C(Fa)$ для тех или иных биогеоценотических групп, но и от соотношения их площадей в данном экорегионе. *Катенарная организация* биогеоценозов, выраженная определенным *геоморфологическим спектром соответствующих типов локальных местоположений, предполагает необходимость расчетов углеродного баланса как величины, средневзвешенной по площадям этих типов.* Мы провели сравнение биотической регуляции углеродного цикла, осуществляемой, с одной стороны, плакорными лесными биогеоценозами, отображающими определенную зонально-региональную (фоновую) биоклиматическую норму данной территории (Высоцкий, 1960), а с другой – всем ее биогеоценотическим разнообразием (в виде средневзвешенной нормы $\Delta C(Fa)$ как параметра биотической регуляции).

Расчеты проведены для трех особо охраняемых природных территорий Поволжья (табл. 5).

Оказалось, что лесные сообщества плакорного ряда дают значения углеродного баланса лесных экосистем, резко отличные от средневзвешенных по площади для данного экорегиона значений не только по величине, но и по знаку. В экорегионах Присурье и ПТЗ плакорные неморальные и смешанные леса должны осуществлять при глобальном потеплении весьма существенную отрицательную регуляцию углеродного цикла, между тем как в целом по каждому из этих регионов прогнозируется положительная регуляция, правда, несколько более слабая. Противоположные контрасты регуляции свойственны экорегиону типичной лесостепи при глобальном похолодании. Экстразональные лесные сообщества, образующие целый спектр локальных отклонений от зонально-региональной нормы и занимающие до 70-75% и более площади региона, дают результаты, с лихвой перекрывающие углеродный баланс плакорных лесов как типичных представителей данной зонально-региональной системы.

Таблица 5. Плакорное (А) и средневзвешенное по площади (Б) базовое содержание органического углерода в почвенно-растительном покрове (т/га) и его изменения на особо охраняемых природных территориях Среднего и Верхнего Поволжья в соответствии с прогнозно-климатическими моделями. **Table 5.** Upland (A) and weighted average (by area) (Б) baseline content of organic carbon in the soil-vegetation cover (t/ha) and its changes in the specially protected natural areas of the Middle and Upper Volga regions according to the predictive climate models.

Варианты осреднения	Базовый период	Модель HadCM3	Модель E GISS
а) Южная лесостепь, Национальный природный парк «Самарская Лука» (Жигули)			
А	216.36	–100.47 [–]* (46.4)**	–55.88 [–] (25.8)
Б	193.7	–82.60 [–] (42.6)	–44.23 [–] (22.8)
б) Типичная лесостепь, Национальный природный парк «Чаваш Вармане» (Присурье)			
А	221.9	–32.08 [–] (14.5)	–32.51 [–] (14.7)
Б	167.4	34.75 [+] (20.8)	37.41 [+] (22.3)
в) Южная полоса подтайги, Приокско-Террасный биосферный заповедник			
А	243.43	–31.45 [–] (12.9)	–27.82 [–] (11.9)
Б	200.49	10.65 [+] (5.3)	6.16 [+] (3.1)

Примечания к таблице 5: [–]* – негативная регуляция углеродного цикла при данном климатическом тренде, [+] – позитивная регуляция, круглые скобки** – отклонения от базовой величины, в %. **Notes to table 5:** [–]* – negative regulation of the carbon cycle under the given climatic trend, [+] – positive regulation, round brackets** – deviations from the base value, %.

Таким образом, налицо убедительное доказательство неправомерности экстраполяции модельных сценариев биологического круговорота и углеродного баланса, которые получаются при имитационном моделировании «типичных биомов» (King et al., 1999; Aber et al., 2001; Кудеяров, 2007) на всю территорию природной зоны/подзоны или крупного региона. Для каждого структурного подразделения той или иной зонально-региональной единицы углеродный баланс необходимо рассчитывать по *геоморфологическим типам*

биогеоценозов в рамках местных закономерностей их *катенарной организации,* получая затем таксономическую (средневзвешенную по площади) норму углеродного баланса. Это приводит к совершенно иным результатам балансовых расчетов по сравнению с расчетами по «типичным» (фоновым) биомам, что и продемонстрировано нашим опытом прогнозного эмпирико-статистического моделирования.

Структура углеродных балансов лесных биогеоценозов. При развитии термо-аридного климатического тренда как в целом по всему Среднему Поволжью, так и в пределах каждой региональной экосистемы наибольшие по абсолютному значению изменения должен испытать блок автотрофного биогенеза, дающий скелетную древесно-кустарниковую (*BS*), зеленую (*BV*) и корневую (*BR*) фитомассы. Эта закономерность свойственна экологическому прогнозу по обеим климатическим моделям GISS и HadCM3, а также практически всем группам биогеоценозов в каждой региональной экосистеме (рис. 3). При этом приоритетный вклад в изменения углеродного баланса ΔC будет вносить динамика прироста древесины. К 2100 году ΔC(*BS*) в своих экстремальных значениях составит от –(53-58) т/га в Жигулевском массиве до +(68-88) т/га в хвойно-широколиственных лесах Нижегородского Предволжья. Таков возможный размах изменений потока углерода, вызванных ожидаемой динамикой продуктивности средневолжских лесов. Если учесть базовые значения параметра ΔC(*BS*), равные в Жигулях 150-204 т/га, а в «Зеленом Городе» (не считая заболоченных лесов) – 230-288 т/га, то становится очевидным, что за столетний прогнозный период содержание углерода, законсервированного в скелетной фитомассе лесов Среднего Поволжья, может измениться на ± 30% от исходных величин (уменьшится в первом рассматриваемом случае и увеличится – во втором). Более того, в южных маргинальных лесах общее падение содержания углерода может превысить 45%. Цифры эти немалые и указывают на весьма существенную регулирующую роль, которую должна сыграть продуктивность неморальных и смешанных лесов региона в их углеродном обмене с атмосферой. Как известно из работы А.А.Тишкова (2005), для достижения доиндустриального уровня концентрации CO_2 в атмосфере достаточно увеличить мировые запасы фитомассы на 20%.

В теневых широколиственных лесах Жигулевского плато и нижних частей крутых склонов, где, как уже было показано, глобальное потепление вызовет наиболее значительное падение продуктивности лесов, убыль содержания углерода в скелетном древесно-кустарниковом пуле к 2050 году составят по моделям E GISS и HadCM3 – 44-27 и 52-53 т/га, а к концу XXI столетия этот дефицит достигнет 55-36.5 и 57-58 т/га. Как видим, разница между прогнозно-климатическими моделями не столь велика. Несколько меньшие отрицательные изменения претерпят углеродные древесные пулы кленово-липовых дубняков и осинников нейтральных и теневых склонов, а также днищ глубоко врезанных малых долин. В то же время убыль углерода в древесине остепненных разреженных сосняков крутых солнцепечных склонов будет гораздо меньшей: на прогнозный срок 2100 года она составит всего 19.1-23.2 т/га.

На северной границе лесостепной зоны в денудационно-моренно-зандровых лесных экосистемах («Зеленый Город») следует ожидать наиболее интенсивный для всего Среднего Поволжья сток углерода из атмосферы в скелетную древесно-кустарниковую фитомассу практически по всей системе локальных ландшафтных сопряжений (рис. 3в). При этом максимум ΔC(*BS*) будет свойствен верхнему и нижнему звеньям катен. К 2050 году величина дополнительного стока углерода в древесину здесь составит 32-39 т/га по модели E GISS и 59-67 т/га по модели HadCM3, а к концу прогнозного срока его значения достигнут 60-68 и 81-88 т/га соответственно. Еще бóльшая дополнительная консервация углерода (в финале – до 90-112 т/га) произойдет в высокопойменных заболоченных черноольшаниках. В то же время древесина ксеро-мезо-морфных элювиальных и транзитных елово-липовых дубрав и елово-сосновых лесов будет дополнительно консервировать углерод в значительно меньших количествах: к 2100 году – не более 36-39 и 57-60 т/га по указанным моделям.

Тем не менее, важно отметить, что плакорные хвойные и смешанные леса северной окраины неморальнолесной зоны (в частности, Нижегородского Предволжья) будут единственными «зональными представителями» среди рассматриваемых региональных экосистем, где скелетная древесно-кустарниковая и корневая фитомассы будут служить дополнительным стоком углерода при глобальном потеплении.

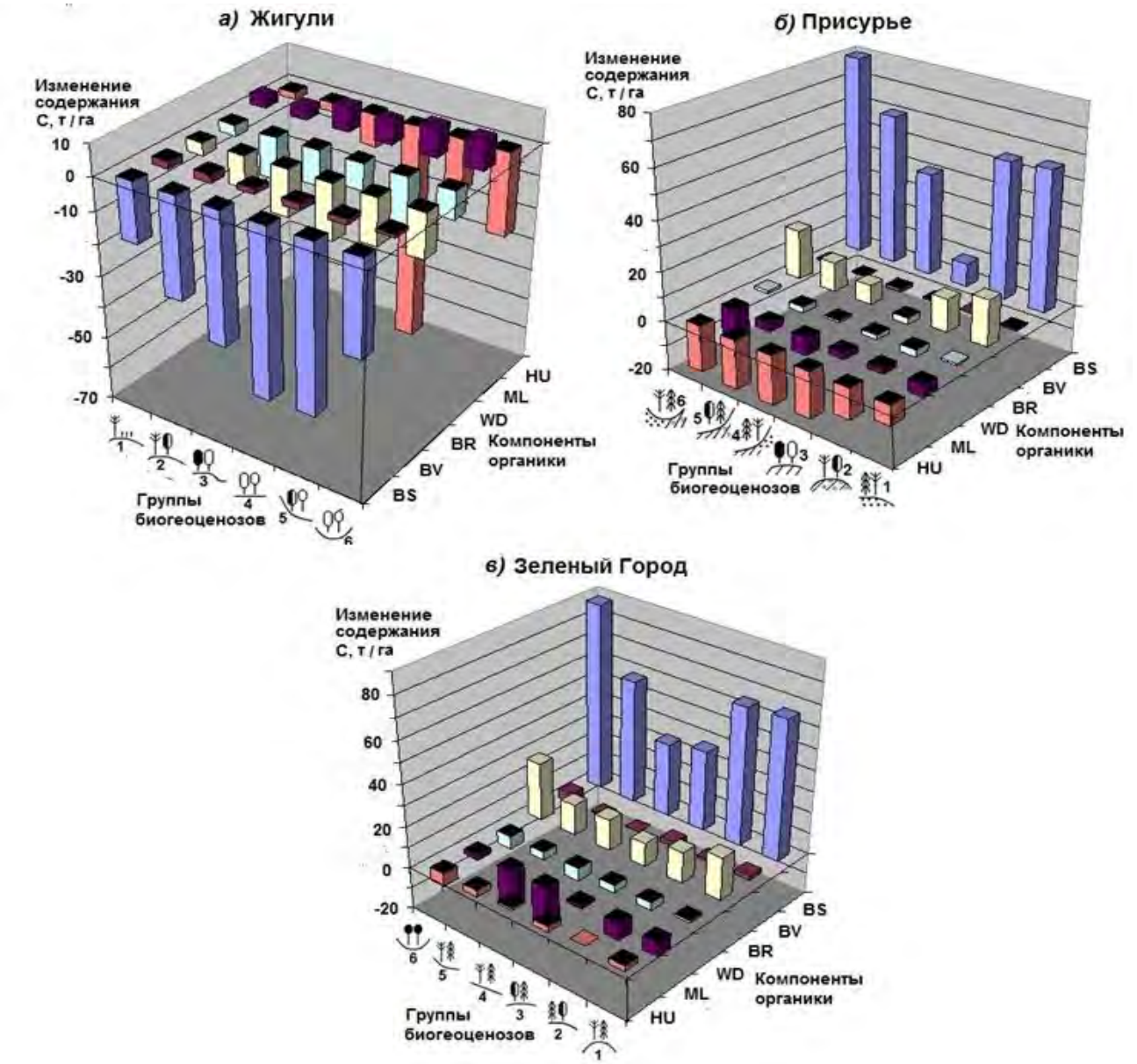


Рис. 3. Прогнозируемые на 2050 г., согласно экстремальной модели HadCM3, изменения содержания углерода в различных пулах лесных биогеоценозов экспериментальных полигонов в: а) южной лесостепи, б) типичной лесостепи, в) смешанных лесах.
Fig. 3. Changes in carbon content predicted for 2050, according to the HadCM3 extreme model, in different pools of forest biogeocenoses of experimental polygons in: a) southern forest-steppe, б) typical forest-steppe, в) mixed forests.

В подзоне типичной лесостепи (экорегион Присурье), занимающей промежуточное положение между двумя рассмотренными выше регионами, плакорные дубово-липовые леса суглинистых возвышенных массивов до 2050 года будут иметь отрицательный показатель $\Delta C(BS) = -6.2$ т/га, однако во второй половине XXI столетия они начнут уже дополнительно консервировать углерод в древесно-кустарниковой фитомассе, и к 2100 году $\Delta C(BS)$ здесь

будет равно +9.4 т/га. Примечательно, что углеродный древесно-кустарниковый пул хвойных и смешанных лесов возвышенного присурского зандра существенно возрастет, получив к концу прогнозного срока прибавку в 40-60 т/га, что достаточно близко к значениям ΔC(*BS*) в аналогичных лесных сообществах региона «Зеленый Город» (рис. 3б).

Углеродные балансы лесных формаций. Согласно экстремальному сценарию глобального потепления по модели HadCM3, в XXI веке средневзвешенный по площади углеродный баланс в лесах основного водосбора Волжского бассейна может составить от –(21-27)% до +(11-17)% базового содержания углерода с общим увеличением ΔC(*Fa*) с юго-востока на северо-запад. Эти цифры вполне сопоставимы с данными других прогнозных региональных оценок (Alcamo et al., 1004; Aber et al., 2001; Мохов и др., 2005). Даже по умеренной модели E GISS удельный углеродный баланс групп лесных формаций будет иметь значительный размах колебаний в пределах от ±(5-10) до ±(45-58) т/га, что составит от 0.5-1.0 до 25-38% базового содержания углерода.

Рассмотрим сначала общую картину удельных углеродных балансов коренных (первичных, климаксных) лесных формаций бассейна при потеплении, согласно модели E GISS (табл. 6), которая дает оптимальные пределы климатических изменений, согласно Парижскому Соглашению (Paris Agreement, 2015). В ареалы каждой из этих фитоценологических групп вошли коренные лесные сообщества (темно- и светлохвойные, смешанные, широколиственные), как современные, так и восстановленные на месте длительно производных (мелколиственных) лесов, а также агроландшафтных комплексов.

Как известно, на стадии климакса (и субклимакса) структура и функционирование лесных сообществ приходят в соответствие с данными зонально-региональными климатическими условиями (Сукучев, 1972). Обеспечивается устойчивость депо живой фитомассы и фитодетрита, что стабилизирует депозит углерода и замораживает его эмиссию (Уткин, 1995). Высокую эффективность работы почвенно-биотических механизмов по стабилизации и регулированию окружающей среды можно трактовать в качестве определенного *экологического ресурса лесного сообщества* (Горшков, 1995; Уткин, 1995). Коренные климаксные и близкие к ним лесные формации, образующие «ядро» биоклиматичекой системы экорегиона, в отличие от формаций производных, должны обладать максимальными экологическими ресурсами (Лосев, 2001).

По сценарию регионального умеренного потепления (прогнозный срок – 2150 г. по модели E GISS) наиболее мощное сокращение парниковых газов в атмосфере и, следовательно, максимальное ослабление регионального потепления ожидается со стороны двух групп коренных лесных ассоциаций: среднетаежных пихто-ельников на северных водосборах Среднего Поволжья и средне- и южнотаежных сосняков в бассейнах Унжи, Ветлуги и Средней Вятки по Низменному Заволжью. В каждой из этих фитоценологических групп суммарный углеродный баланс [∑ΔC(*Fa*)] приближается к +190 млн. т. Почти столь же высоким экологическим ресурсом обладают подтаежные елово- и сосново-широколиственные леса в западном секторе бассейна (по левобережью Средней Оки), где [∑ΔC(*Fa*)] ≈ +(140-170) млн. т. В восточном секторе (камско-печерско-западноуральском) величина суммарного углеродного баланса снижается почти в 4 раза (табл. 6).

Разительным контрастом по отношению к упомянутым лесным сообществам выступают восточноевропейские широколиственные леса, которые оказывают существенное негативное воздействие на углеродный обмен земной поверхности с атмосферой: [∑ΔC(*Fa*)] > –100 млн. т.

В полосе, охватывающей верховья Оки, Цны и Мокши, сурско-волжского междуречье и далее Высокое Заволжье, суммарный углеродный баланс широколиственных лесов не превышает –(165-230) т/га.

В два с лишним раза возрастает отрицательный баланс в маргинальных типично-лесостепных сосновых и широколиственно-сосновых лесах. Последние, таким образом, оказываются не только наиболее неустойчивыми к глобальному потеплению, но и, являясь фитоценологическими системами с положительной обратной связью, сами будут

способствовать своей деградации, усиливая данный климатический тренд.

Таблица 6. Суммарные базовые запасы углерода, а также суммарный и удельный углеродные балансы в восстановленных коренных (зонально-климаксных) лесах Волжского бассейна (рис. 1) по термо-аридным трендам, согласно климатическим моделям E GISS и HadCM3. **Table 6.** Total baseline carbon stocks, total and specific carbon balances in restored native (zonal-climax) forests of the Volga Basin (Fig. 1) by thermal arid trends, according to E GISS and HadCM3 climate models.

Группы ассоциаций (табл. 1)	**Общая площадь, км^2**	**Суммарные Базовые запасы углерода, млн. т.**	**Суммарный (удельный) углеродный баланс, млн. т. (т/га), по различным климатическим сценариям**			
			Модель E GISS (2150 г.)		**Модель HadCM3 (2100 г.)**	
			Востановлен-ные коренные леса	**Коренные + производные леса**	**Востанов-ленные коренные леса**	**Коренные + производные леса**
1	45927	508.596	+187.489 [+]* (+42.45)	+60.267 [+] (+30.78)	+91.205 [+] (+20.65)	+68.890 [+] (+15.00)
2	128709	2368.889	–51.100 [–] (–4.14)	–36.031 [–] (–6.48)	+2.222 [+] (+0.18)	–133.085 [–] (–10.34)
3	96957	1975.984	+137.822 [+] (+14.82)	+16.945 [+] (+16.45)	+103.785 [+] (+11.16)	+229.619 [+] (+23.83)
4	32319	566.358	–26.800 [–] (–3.94)	–34.868 [–] (–7.58)	+221.865 [+] (+32.62)	+35.648 [+] (+11.03)
5, 6	65772	1246.708	+35.685 [+] (+13.78)	+3.612 [+] (+11.92)	+40.372 [+] (+15.59)	+100.697 [+] (+15.31)
7	93555	2445.425	+189.404 [+] (+21.14)	+49.525 [+] (+10.21)	+147.563 [+] (+16.47)	+79.709 [+] (+8.52)
8 ,9	66339	1157.35	+173.537 [+] (+27.33)	+58.042 [+] (+16.39)	+55.448 [+] (+9.05)	+56.255 [+] (+8.48)
12	133245	2736.852	–102.622 [–] (–7.76)	–8.32 [–] (–5.82)	+110.689 [+] (+8.37)	+61.826 [+] (+4.64)
11, 13	148554	2656.309	–56.891 [–] (–14.46)	–50.085 [–] (–12.73)	– 13.613 [–] (–3.46)	–65.215 [–] (–4.39)
14	8505	10.266	+2.416 [+] (+7.60)	+2.353 [+] (+7.60)	+0.767 [+] (+2.41)	+2.050 [+] (+2.41)
Заболо-ченные леса	5850	82.315	+7.172 [+] (+14.27)		+20.370 [+] (+40.53)	+23.710 [+] (+40.53)
Лесные болота	2400	33.014	+5.798 [+] (+28.12)		+4.182 [+] (+20.28)	+4.867 [+] (+20.28)
Неморальные поймы	17361	255.762	+11.798 [+] (+7.91)		+12.469 [+] (+8.36)	+14.514 [+] (+8.36)
Сумма (среднее)	**845493**	**16043.83**	**+513.708** [+] **+(11.31)**	**+83.302 [+] (+8.54)**	**+797.319 [+] +(14.02)**	**+479.485** [+] **(+11.05)**

Примечания к таблице 6. [+]* – позитивная регуляция углеродного цикла при данном климатическом тренде, [–] – негативная. Лесопокрытая площадь для групп ассоциаций 10 и 12 принята равной 26%, для 13 – 11%. **Notes to Table 6.** [+]* – positive regulation of the carbon cycle under the given climatic trend, [–] – negative regulation. The forested area for plant association groups No. 10 and12 was assumed to be 26%, for No. 13 it was assumed to be 11%.

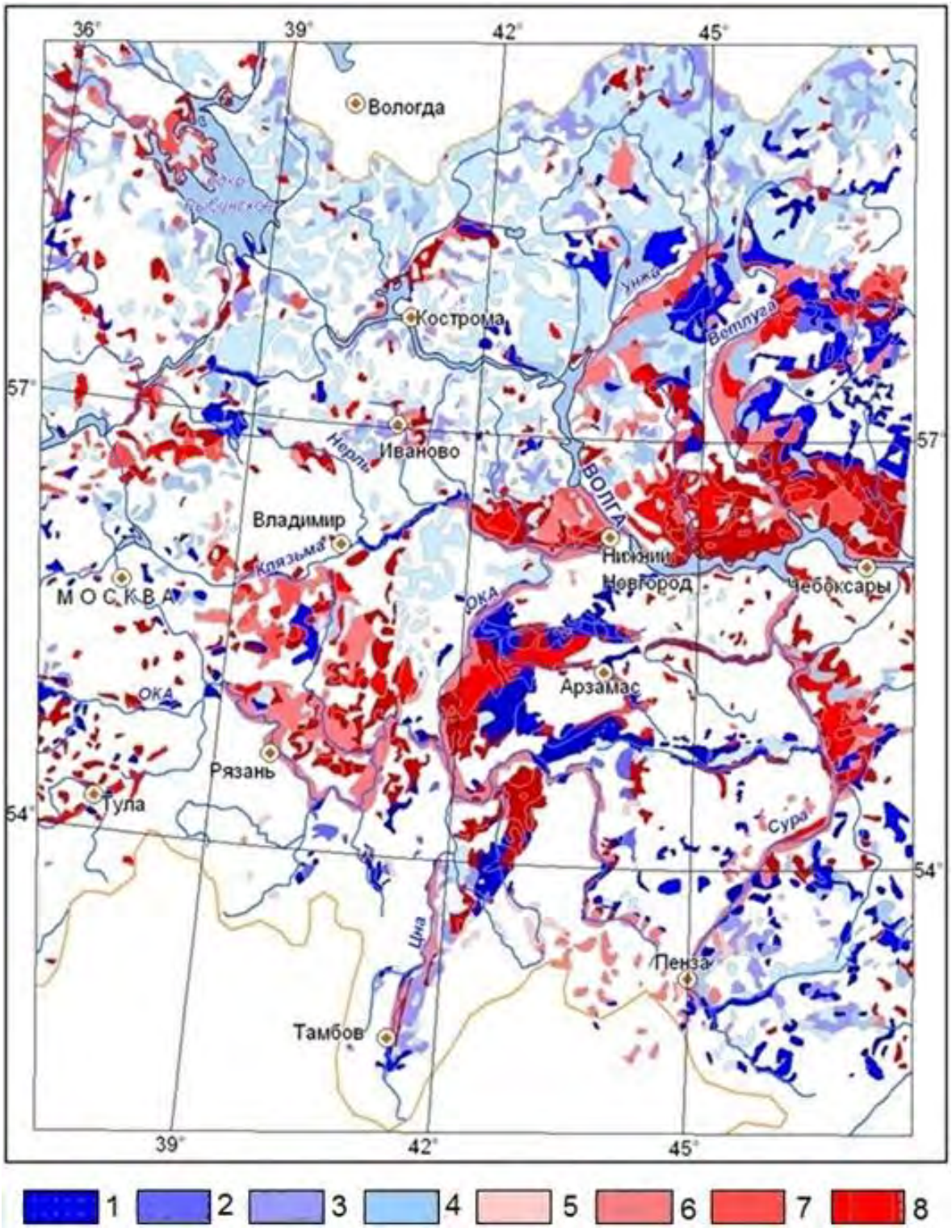


Рис. 5. Карта (М 1 : 4 200 000) углеродного баланса в растительных формациях Волжского бассейна на 2150 год по прогнозной климатической модели E GISS (умеренный термо-аридный тренд), рассчитана и составлена Л.С. Шарой. *Условные обозначения.* Углеродный баланс (т/га): 1 – от –66 до –16, 2 – от –16 до –12, 3 – от –12 до –10, 4 – от –10 до 0, 5 – 0-10, 6 – 10-25, 7 – 25-40, 8 – 40-89. **Fig. 5.** Carbon balance map (Scale 1:4 200 000) of the plant formations in the Volga Basin for the year of 2150, according to the forecasting climate model E GISS (moderate thermal arid trand) and compiled by L.S. Shary. *Legend.* Carbon balance (t/ha): 1 – from –66 to –16, 2 – from –16 to –12, 3 – from –12 to –10, 4 – from –10 to 0, 5 – 0-10, 6 – 10-25, 7 – 25-40, 8 – 40-89.

В целом группы коренных лесов Волжского бассейна при заполнении каждой из них своего зонально-регионального экологического пространства при потеплении должны оказывать положительное регулирующее влияние на углеродный обмен земной поверхности с атмосферой (табл. 6, нижняя строка).

Наибольшее практическое значение регуляции углеродного цикла имеет реальный лесной покров, слагающийся из коренных и вторичных сообществ, а также лесных угодий. В целом сравнительная картина углеродных балансов для реального лесного покрова (табл. 6; рис. 4) сохраняется такой же, что была обрисована для коренных лесов бассейна. По умеренному термо-аридному сценарию E GISS средне- и южнотаежные ельники и замещающие их березняки по всей северной и северо-восточной части Окско-Волжского бассейна будут снижать продуктивность (из-за роста атмосферного увлажнения) и, соответственно, уменьшать поглощение парниковых газов из атмосферы: $\Delta C(Fa)$ составит от –15÷30 до и –45÷65 т/га. Тем самым они должны способствовать глобальному потеплению. Слабо выраженную негативную регуляцию углеродного цикла $\Delta C(Fa)$ = –10÷35 т/га следует ожидать и от дубрав, и от липняков лесостепной зоны (как мы уже видели, эта регуляция должна проявиться гораздо сильнее при экстремальной термо-аридизации по модели HadCM3). В то же время коренные широколиственно-сосновые леса и их дериваты (березняки и осинники) в широкой полосе, охватывающей подтаежную зону и неморальнолесную подзону, проявят достаточно резко выраженную положительную регуляцию углеродного цикла, поскольку будут увеличивать продуктивность с активным поглощением CO_2 из атмосферы: $\Delta C(Fa)$ = 25-45 т/га, местами – до 60-85 т/га.

Сопоставление удельных и суммарных углеродных балансов по восстановленным коренным лесам и реальному лесному покрову (коренные + производные леса) показывает, что замещение коренных лесов производными приводит к общему и достаточно ощутимому снижению экологических ресурсов лесного покрова Волжского бассейна. Это проявляется в снижении общей положительной регуляции углеродного цикла (табл. 5). Особенно негативно сказывается распространение березняков и осинников в средне-южнотаежных и подтаежных сосновых лесах, которые, как уже говорилось, имеют лидирующий вклад в дополнительное поглощение CO_2 при потеплении (более 70% от общего объема поглощения). Их средние значения $\Delta C(Fa)$ при слабо выраженном потеплении по модели E GISS сокращаются почти в два раза – с 16.16 до 8.87 т/га. На 27% уменьшается также экологический ресурс среднетаежных пихто-ельников, а в южнотаежных восточноевропейских и камско-западнопредуральских темнохвойных лесах отрицательный углеродный баланс увеличивается на 40-50%. В темнохвойных южнотаежных и подтаежных сообществах, а также в широколиственных и остепненных сосново-широколиственных лесах вторичные мелколиственные формации оказывают гораздо меньшее влияние.

В целом широкое распространение в лесном поясе Волжского бассейна восстановительных сукцессий с господством длительнопроизводных мелколиственных сообществ снижает в 2-2.8 раза суммарную дополнительную поглотительную способность лесов для термо-аридных прогнозных сценариев по сравнению с гипотетически восстановленными коренными лесами. Налицо значительная потеря ими потенциальных возможностей смягчения климатических колебаний. Результаты проведенного нами численного эксперимента с моделями углеродных балансов, основанного на эмпирических данных, подтверждают гипотезу о том, что «… только климаксовый или приближающийся к нему лес служит активным регулятором окружающей среды», а « … валовая первичная продукция климаксового лесного сообщества [и соответствующие запасы углерода] … определяет мощность биотической регуляции окружающей среды» (Лосев, 2001, с. 109-110).

В условиях экстремального потепления (по модели HadCM3), при котором, как уже говорилось, происходит общая активизация поглощения лесным покровом парниковых газов, разница в удельных значениях углеродного баланса между восстановленными коренными и реальными лесами существенно сглаживается, однако по суммарному балансу

она остается столь же значительной (табл. 6, нижняя строка), а для некоторых зонально-региональных групп лесных формаций даже возрастает. Это касается в первую очередь восточноевропейской южной тайги, где восстановленный коренной лесной покров обнаруживает при экстремальном потеплении положительную регуляцию углеродного цикла, между тем как смесь коренных и производных лесов существенно увеличивает его отрицательную регуляцию (рис. 5). В подтаежных же широколиственно-темнохвойных лесах распространение березняков и осинников дает противоположный эффект – аномальное повышение положительного углеродного баланса. Особенно отчетливо это выражено в бассейне Вятки и на ветлужско-вятском междуречье.

Верификация прогнозных расчетов углеродного баланса прогнозных моделей остается весьма проблематичной задачей, и до сих пор не найдены пути ее решения. Главная проблема состоит в необходимости получения достаточно длительного многолетнего ряда прямых измерений (дистанционных либо непосредственно полевых) содержания углерода во множестве лесных экосистем, которое отображает фитоценологическую структуру того или иного региона. Мы использовали аналитические и картографические материалы по депонированию/эмиссии углерода в лесах бореального пояса Центральной Канады (Stinson et al., 2011). Эти данные получены с помощью повторного дистанционного зондирования на протяжении 1990-2009 гг. (напомним, это годы начального периода глобального потепления), а также наземных измерений и моделирования на центральную равнинную часть Канады – провинций Саскачеван и Манитоба.

Прежде всего, необходимо было оценить сопоставимость Волжского бассейна и центральной равнинной Канады по региональным климатическим прогнозам, а также по параметрам углеродного цикла и экологическим последствиям лесопользования в прогнозируемые периоды. Эти данные представлены в таблице 7. В целом оба крупных экорегиона достаточно близки друг к другу по основным климатическим трендам. Они описывают однозначное повышение зимних и летних температур (если не считать аномального похолодания в Волжском бассейне в 2050 г.), а также увеличения годовой суммы осадков (за исключением временной аридизации всей Европы на рубеже веков).

Таблица 7. Фактические и прогнозируемые по модели E GISS отклонения от базового периода основных климатических показателей в различные сроки для основного водосбора Волжского бассейна и для Центральной Канады. **Table 7.** Actual and forecasted (by the E GISS model) deviations from the baseline period of the main climate indices at different years for the main catchment area of the Volga Basin and for Central Canada.

Отклонения от базового периода*	**Среднее и Верхнее Поволжье**			**Центральная Канада**		
	1990 г.	**1998 г.**	**2050 г.**	**1990 г.**	**1998 г.**	**2050 г.**
$t_{января}$	0.8-1.4	1.1-1.6	1.6-2.1	0.1-0.7	1.4-1.9	1.6-2.1
$t_{июля}$	0.0-0.4	1.0-1.6	–0.5÷(+0.1)	0.1- 0.4	0.3-0.8	0.7-1.1
$r_{год}$	110-292	–(73÷292)	73-328	73-292	36-256	73-328

Примечание к таблице 7: * – средние температуры (°C), $r_{год}$ – годовое количество осадков (мм). **Note to table 7:** * – average temperatures (°C), $r_{год}$ – annual sum of precipitation (mm).

Современные запасы углерода в бореальных лесах Волжского бассейна оцениваются в пределах 120-150 т/га. В лесах равнинной центральной Канады они несколько ниже – 80-110 т/га. По данным прогнозной имитационной модели IMAGE2 (Alkamo et al., 1994), в обоих крупных экорегионах поток углерода из наземных экосистем в атмосферу, обусловленный обезлесиванием, лесопользованием и возрастной динамикой лесовосстановления после пожаров и вырубок, в 1990 году составил не более 0.15-0.20 т/га,

а к 2050 году должен увеличиться до 0.20-0.50 т/га. Можно полагать, что Волжский бассейн и центральная Канада находятся и будут, вероятно, находиться в близких условиях лесопользования, что облегчает их сопоставимость по динамике углеродного цикла.

Приведем погодичные и средние изменения *экосистемного стока углерода* ($\Delta NEP(CO_2)$, т/га год), а также их суммарные изменения (т/га) за период 1990-2000 гг. в бореальных лесах центральной Канады, по данным G. Stinson с соавторами (2011) в таблице 8.

Таблица 8. Погодичные и средние изменения *экосистемного стока углерода* ($\Delta NEP(CO_2)$, т/га год), а также их суммарные изменения (т/га) за период 1990-2000 гг. в бореальных лесах центральной Канады (Stinson et al., 2011). **Table 8.** Annual and average changes in the *ecosystem carbon sink* ($\Delta NEP(CO_2)$, t/ha per year), and their total changes (t/ha) over 1990-2000 in the boreal forests of the Central Canada (Stinson et al., 2011).

Годы	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
$\Delta NEP(CO_2)$	0.113	0.083	0.135	0.057	0.061	–0.170	0.061	0.104	–0.096	0.017	0.087
среднее $\Delta NEP(CO_2)$ = 0.041 т/га·год						$\sum\Delta NEP(CO_2)$ = 0.452 т/га					

Если не считать сокращения стока углерода в 1995 и 1998 гг., когда в Центральной Канаде распространялись сильные лесные пожары, среднее значение $\Delta NEP(CO_2)$ за этот 11-летний период было равно 0.080 т/га·год. К этой цифре весьма близки наши расчетные данные по экстремальной модели HadCM3 (табл. 6). До 2100 года по ней прогнозируется средний удельный углеродный баланс реальных лесов Волжского бассейна в 0.085 т/га·год, а восстановленных коренных – почти в 1.5 раза больший (0.117 т/га·год). Прогнозные расчеты по умеренной модели E GISS дают явно заниженные значения стока углерода по сравнению с «канадским контролем» ($\Delta C(Fa) \leq 0.050$ т/га·год); особенно это касается реального лесного покрова: $\Delta C(Fa) = 0.015$ т/га·год.

Таким образом, для начальных десятилетий глобального потепления верификация наших прогнозных расчетов углеродного баланса дала положительные результаты только по экстремальной модели HadCM3. Это, во-первых, подтверждает реальность региональных и локальных экологических прогнозов, проведенных нами по данной климатической модели, а, во-вторых, указывает на то, что современное глобальное потепление характеризуется такими высокими скоростями роста температуры, которые не соответствуют норме, заданной Парижским соглашением (Paris Agreement, 2015) по изменению климата. Данной норме могут быть адекватны только экологические прогнозы по модели E GISS, однако они дают аномально низкие положительные значения, т.е. их реализация предусматривает резкое снижение адсорбционного потенциала лесных биомов Волжского бассейна и соответствующую утрату ими регулирующей роли в смягчении климатических изменений. Решение возникшей дилеммы остается пока достаточно проблематичным.

Верификация наших прогнозных расчетов на столетнюю перспективу (за пределами 2050 г.) по фактическим данным канадских лесов за интервал первого 10-летия глобального потепления становится менее надежной. Наши расчетные модели прогнозных изменений содержания углерода в различных пулах лесных биогеоценозов получены на основе результатов их базовой гидротермо-эдафической ординации, которые имеют вид не только линейных связей, но и параболических (степенных) и экспоненциальных (табл. 3). Это и дает общий восходящий тренд параметра $\Delta C(Fa)$ для Волжского бассейна, но он не подтвержден трендом его изменений в Центральной Канаде, который основан на эмпирических данных самого начального периода глобального потепления.

Виртуальное прогнозно-экологическое картографирование. Для сценария глобального потепления на срок 2150 г. по экстремальной модели HadCM3 провели опыт построения регрессионных карт углеродного баланса лесных формаций Окского бассейна (рис. 6).

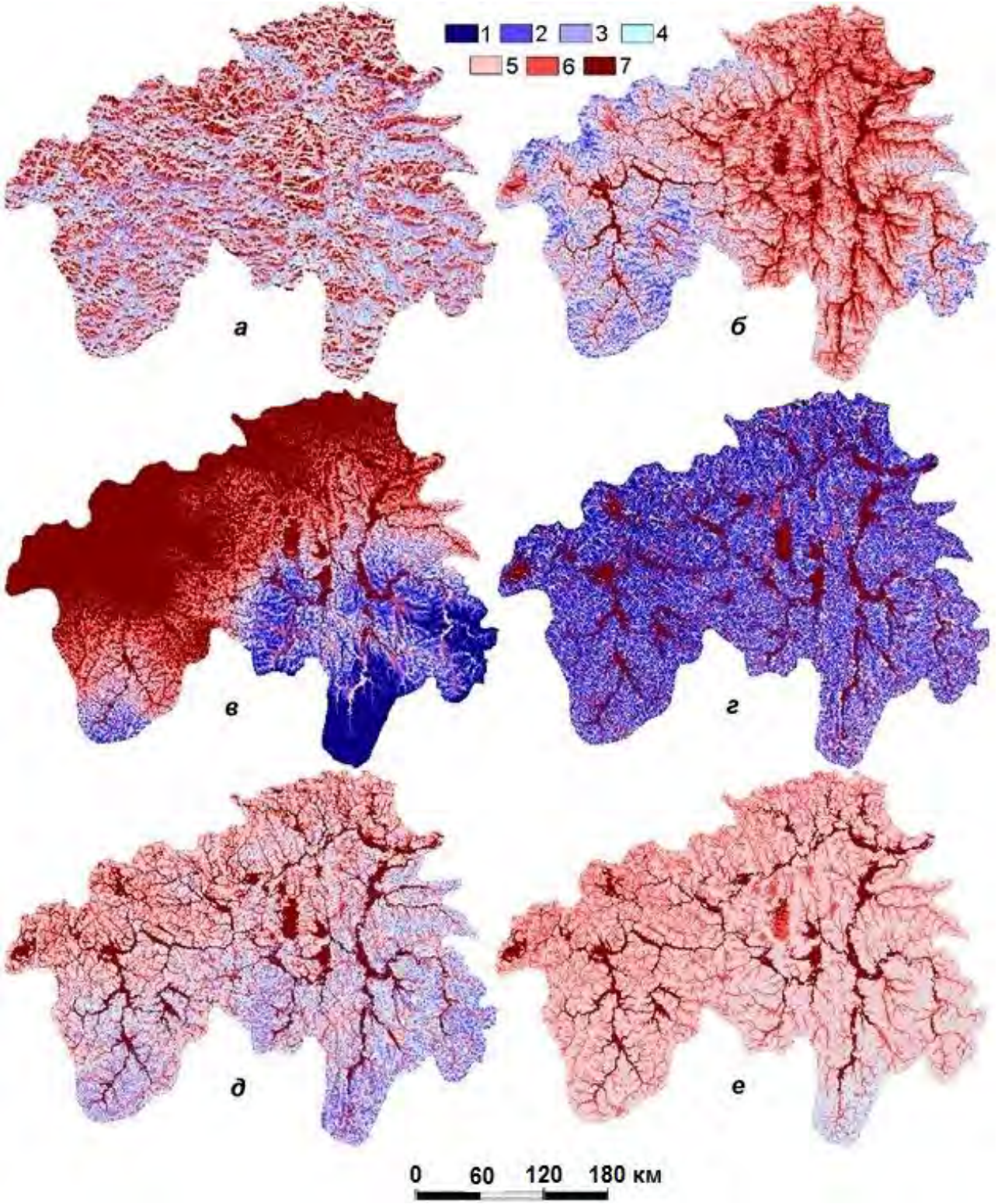


Рис. 6. Регрессионные карты углеродного баланса в растительных формациях бассейна р. Оки на прогнозный срок глобального потепления 2150 г., согласно HadCM3 (табл. 6). *Условные обозначения.* Изменения удельного содержания углерода (т/га): 1 – от –136 до –15, 2 – от –15 до –7, 3 – от –7 до –3, 4 – от –3 до 0, 5 – 0-7, 6 – 7-15, 7 – 15-115. **Fig. 6.** Regression maps of carbon balance in plant formations of the Oka Basin for the forecasted global warming of 2150, according to the HadCM3 model (Table 6). *Legend.* Changes in specific carbon content (t/ha): 1 – from –136 to –15, 2 – from –15 to –7, 3 – from –7 to –3, 4 – from –3 to 0, 5 – 0-7, 6 – 7-15, 7 – 15-115.

Карты созданы на основе выявленных статистических связей параметра $\Delta C(Fa)_{2150}$ различных лесных формаций бассейна с наиболее значимыми предикторами. Сами карты носят условный характер. Каждая из них описывает виртуальную реальность – картину изменений содержания углерода в данной группе формаций. При этом допускается, что территория бассейна р. Оки полностью покрыта лесами: *а* – еловыми и широколиственно-еловыми, *б* – сосновыми и широколиственно-сосновыми, *в* – широколиственными, *г* – вторичными на месте сосновых и широколиственно-сосновых, *д* – вторичными на месте еловых, сосновых и широколиственных, *е* – коренными и вторичными в пропорциях их современного распределения.

Такие карты позволяют более четко представить парциальный вклад лесных сообществ в биотическую регуляцию углеродного цикла на территориях с различными природными условиями. Это особенно важно для *стратегии лесоразведения в ныне обезлесенных районах при ожидаемых изменениях климата, а также для лесовосстановления после пожаров.* На территории России площадь фонда лесоразведения составляет от 10.8 до 20.3 млн. га, между тем как с учетом лесовосстановления она может достичь 35-40 млн. га (Исаев, Коровин, 2006).

Очевидно, при подборе ассортимента лесопосадочных пород предпочтение следует отдавать тем из них, которые *будут обеспечивать в лесном насаждении положительный углеродный баланс и могут создавать, таким образом, лесные сообщества, наиболее устойчивые к изменениям климата.* Тем самым может быть достигнут наиболее высокий уровень «… потенциала смягчения изменений климата средствами лесного хозяйства» (Швиденко и др., 2017, с. 15). При этом «более перспективно … выравнивание возрастной структуры насаждений в лесном фонде» (Замолодчиков и др., 2005, с. 328).

Как показывают виртуальные карты, в восточной половине территории Окского бассейна целесообразно высаживать сосну в смеси с широколиственными породами, а в крайней северо-западной полосе – чистые липово-дубовые древостои (рис. 6а, в), поскольку они дадут максимум поглощения парниковых газов. Положительная, хотя и слабо выраженная, регуляция углеродного цикла проявится на всей территории бассейна при лесопосадках с сохранением современного площадного соотношения коренных и вторичных лесов (рис. 6е). Господство мелколиственных лесов даст повсеместную эмиссию CO_2, особенно сильную в бассейне р. Цны (рис. 6в).

Выводы

1. По удельным и суммарным углеродным балансам лесных формаций Волжского бассейна дана количественная оценка их экологических ресурсов, обеспечивающих более благоприятные условия окружающей среды при глобальном потеплении с помощью механизмов регуляции лесами углеродного цикла. Полученные результаты могут быть использованы в доработке утвержденных Минприродой России «Методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов» (Распоряжение № 20-р от 30.06.2017) в бореальных и неморальных лесах Средней полосы Европейской России.

2. Выявлено пространственное разнообразие механизмов воздействия фитобиоты и почвы на углеродный обмен земной поверхности с атмосферой и намечены те механизмы, которые могут обеспечить устойчивость наземных экосистем к грядущим изменениям климата. Эмпирически установлено, что вклад в эту устойчивость явно неоднозначен как у локальных лесных ассоциаций, так и у зональных формаций на юге лесного пояса Русской равнины. Одни из них могут осуществлять положительную (в соответствии с принципом Ле Шателье), а другие, наоборот, негативную биотическую регуляцию углеродного цикла. Это позволило обрисовать наиболее вероятную картину предполагаемой роли бореальных

и суб-бореальных лесов в снижении парникового эффекта атмосферы при глобальном потеплении, а также оценить, насколько в действительности леса умеренного пояса способны поддерживать устойчивость континентальной биосферы в условиях меняющегося климата.

3. Установлено, что далеко не всем формациям бореальных лесов следует отводить роль «легких планеты», как это нередко постулируется в отечественной и зарубежной литературе. Концентрация в бореальных лесах более 40% углерода, присутствующего во всех биомах суши (Исаев, Коровин, 1999), еще не означает, что все хвойные и смешанные лесные сообщества способны выполнять глобальные экологические функции по стабилизации состояния биосферы в условиях меняющегося климата. Эти функции существенно зависят от того, в какой сукцессионной стадии находится само лесное сообщество и насколько оно уже приблизилось к своему зонально-климаксному состоянию.

4. Сравнительный анализ углеродных параметров выполнен для двух условных типов лесных экосистем бассейна: восстановленных коренных лесов и реального лесного покрова (коренные + производные леса). Установлено, что замещение коренных лесов (хвойных, смешанных и широколиственных) производными (мелколиственными) приводит к общему и весьма значительному сокращению экологических ресурсов бореального лесного покрова. Широкое распространение в лесном поясе Восточноевропейского субконтинента восстановительных сукцессий с господством длительнопроизводных мелколиственных сообществ даже при мягком термо-аридном прогнозном сценарии почти в три раза снижает суммарное дополнительное поглощение лесами парниковых газов по сравнению с гипотетически восстановленными коренными лесами. Такова общая вызванная человеком потеря экологических ресурсов бореальных и неморальных лесов Волжского бассейна со времен начала в нем интенсивного земле- и лесопользования.

5. В целом проведенное поисковое исследование автор склонен рассматривать как определенный шаг на пути превращения выдвинутых В.Г. Горшковым и А.И. Уткиным концептуальных положений об экологических ресурсах лесов в регуляции углеродного цикла в полновесную научно-методическую концепцию.

Конфликт интересов. Статья написана не с «чистого листа». Она является одним из итогов многолетнего научного поиска автора в области географической экологии и основана на материалах его публикаций, часть из которых представлена далее в библиографическом списке. Автор допускает конфликт интересов с читателем/рецензентом, не знакомым с его научно-методическими разработками в этой области.

Финансирование. Работа выполнена по инициативному проекту РФФИ № 18-05-00024-а «Структурно-функциональная организация, устойчивость и углеродный баланс лесных геосистем Волжского бассейна при глобальных изменениях климата: прогнозное эмпирико-статистическое моделирование».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Албриттон Д.Л., Баркер Т., Башмаков И.* 2003. Изменение климата, 2001 г. Обобщенный доклад МГЭИК / Ред. Р.Т. Уотсон. Geneva: World Meteorological Organization. 220 p.
2. *Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О.* 2016. Спутниковое

REFERENCES

1. Albritton DL, Barker T, Bashmakov I. Climate Change 2001 [*Izmeneniye klimata, 2001 g.*] *IPCC Synthesis Report [Obobshchennyy doklad MGEIK]* / ed. R.T. Watson. Geneva: World Meteorological Organization, 2003:220.
2. Bartalev SA, Egorov VA, Zharko VO. Satellite mapping of vegetation cover of

картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН. 208 с.
3. *Будыко М.И.* 1980. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеоиздат. 351 с.
4. *Будыко М.И., Хект А.Д.* 1991. Предстоящие изменения климата. Совместный советско-американский отчет о климате и его изменениях. Л.: Гидрометеоиздат. 272 с.
5. *Высоцкий Г.Н.* 1960. Избранные труды. Москва: Сельхозгиз. 435 с.
6. *Глазовская М.А.* 1964. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ. 230 с.
7. *Горшков В.Г.* 1995. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНИТИ. 470 с.
8. *Грибова С.А., Исаченко Т.И., Лавренко Е.М.* 1980. Растительность Европейской части СССР. Л: Наука. 429 с.
9. *Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н., Честных О.В.* 2005. Динамика пулов и потоков углерода на территории лесного фонда России // Экология. № 5. С. 323-333.
10. *Исаев А.С.* 2012. Разнообразие и динамика лесных экосистем России. М: КМК. Кн. 1. 460 с.
11. *Исаев А.С., Коровин Г.Н.* 1999. Углерод в лесах Северной Евразии // Круговорот углерода на территории России. М.: Министерство науки и технологий РФ. С. 63-95.
12. *Исаченко Т.И., Лавренко Е.М.* 1974. Карта растительности Европейской части СССР. Масштаб 1:2 500 000. М.: ГУГК. 6 л.
13. *Книзе А.А. Романюк Б.Д.. Федорчук В.Н.* 2000. Динамика продуктивности таежных и подтаежных лесов ЕТР за последнее столетие // Известия РГО. Вып. 3. С. 63-68.
14. *Коломыц Э.Г.* 2005. Бореальный экотон и географическая зональность: Атлас-монография. М.: Наука. 390 с.
15. *Коломыц Э.Г.* 2018. Экспериментальная географическая экология. Записки географа-натуралиста. М: КМК. 716 с.
16. *Кондратьев К.Я., Лосев К.С.,*

Russia [*Sputnikovoye kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii*]. Moscow: IKI RAN, 2016:208.
3. Budyko MI. Climate in the past and future [*Klimat v proshlom i budushchem*]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1980:351.
4. Budyko MI, Hecht AD. Upcoming climate changes [*Predstoyashchiye izmeneniya klimata*] *Proc. of the Joint Soviet-American report on climate and its changes [Sovmestnyy Sovetsko-Amerikanskiy Otchet o klimate i yego izmeneniyakh]*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991:272.
5. Vysotsky GN. Selected works [*Izbrannyye trudy*]. Moscow: Selkhozgiz, 1960:435.
6. Glazovskaya MA. Geochemical foundations of typology and methods of studying natural landscapes [*Geokhimicheskiye osnovy tipologii i metodiki issledovaniy prirodnykh landshaftov*]. Moscow: Izd-vo MGU, 1964:230.
7. Gorshkov VG. Physical and biological foundations of sustainability of life. Moscow: VINITI. 1995. 470 p.
8. Gribova SA, Isachenko TI, Lavrenko EM. Vegetation of the European part of the USSR [*Fizicheskiye i biologicheskiye osnovy ustoychivosti zhizni*]. Leningrad: Nauka, 1980:429.
9. Zamolodchikov DG, Utkin AI, Korovin GN, Chestnykh OV. Dynamics of Carbon Pools and Flows in the Territory of the Forest Fund of Russia [Dinamika pulov i potokov ugleroda na territorii lesnogo fonda Rossii]. *Ecology.* 2005;5:323-333.
10. Isaev AS. Diversity and dynamics of forest ecosystems in Russia [*Raznoobraziye i dinamika lesnykh ekosistem Rossii*]. Moscow: KMK, 2012;1:460.
11. Isaev AS, Korovin GN. Carbon in the Forests of Northern Eurasia [*Uglerod v lesakh Severnoy Yevrazii*] *Carbon cycle in Russia [Krugovorot ugleroda na territorii Rossii]*. Moscow: Ministerstvo nauki i tekhnologiy RF, 1999:63-95.
12. Isachenko TI, Lavrenko EM. Vegetation Map of the European Part of the USSR, Scale 1:2 500 000 [*Karta rastitel'nosti Yevropeyskoy chasti SSSR*]. Moscow: GUGK, 1974:6.
13. Knize AA, Romanyuk BD, Fedorchuk VN. Dynamics of productivity of taiga and

Ананичева М.Д., Чеснокова И.В. 2003. Естественнонаучные основы устойчивости жизни. М.: ВИНИТИ, Институт географии РАН. 239 с.
17. *Котова Т.В.* 1987. Растительность Европейской части СССР и Кавказа. Масштаб 1:2 000 000. М.: ГУГК. 4 л.
18. *Кудеяров В.Н.* 2007. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах. М.: Наука. 380 с.
19. *Лосев К.С.* 2001. Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития России в XXI веке. М.: Космосинформ. 399 с.
20. *Морозов Г.Ф.* 1926. Учение о лесе. 3-е изд. Л.: Государственное издательство. 368 с.
21. *Мохов И.И., Дюфрен Ж.-Л., Трет Э.Ле.* 2005. Изменение режимов засухи и биопродуктивности наземных экосистем в регионах Северной Евразии по расчетам с глобальной климатической моделью с углеродным циклом // ДАН. Т. 405. № 6. С. 1-5.
22. *Полынов Б.Б.* 1956. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР. 751 с.
23. *Сочава В.Б.* 1979. Растительный покров на тематических картах. Новосибирск: Наука. 189 с.
24. *Сукачев В.Н.* 1972. Избранные труды. Т. 1: Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л: Наука. 418 с.
25. *Тишков А.А.* 2005. Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука. 309 с.
26. *Уткин А.И.* 1995. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. № 5. С. 3-20.
27. *Цельникер Ю.Л.* 2006. Газообмен CO_2 в лесных биогеоценозах // Идеи биогеоценологии в лесоведении и лесоразведении. М.: Наука. С. 213-229.
28. *Шарый П.А.* Аналитическая ГИС Эко. 2001. Демо-версия [Электронный ресурс https://gis-lab.info/forum/viewtopic.php?t=10540 (дата обращения 05.10.2024)].
29. *Шарый П.А., Пинский Д.Л.* 2013. Статистическая оценка связи пространственной изменчивости

subtaiga forests of the European part of Russia over the last century [Dinamika produktivnosti tayezhnykh i podtayezhnykh lesov YETR za posledneye stoletiye]. *News of RGS [Izvestiya RGO]*. 2000;3:63-68.
14. Kolomyts EG. Boreal ecotone and geographical zonality: atlas-monograph [*Boreal'nyy ekoton i geograficheskaya zonal'nost': Atlas-monografiya*]. Moscow: Nauka, 2005:390.
15. Kolomyts EG. Experimental geographical ecology [*Eksperimental'naya geograficheskaya ekologiya*] *Notes of a naturalist geographer [Zapiski geografa-naturalista]*. Moscow: KMK, 2018:716.
16. Kondratyev KYa, Losev KS, Ananicheva MD, Chesnokova IV. Natural science foundations of life sustainability [*Yestestvenno-nauchnyye osnovy ustoychivosti zhizni*]. Moscow: VINITI, Institut geografii RAN, 2003:239.
17. Kotova TV. Vegetation of the European part of the USSR and the Caucasus, Scale 1:2 000 000 [*Rastitel'nost' Yevropeyskoy chasti SSSR i Kavkaza*]. Moscow: GUGK, 1987:4.
18. Kudeyarov VN. Modeling the dynamics of organic matter in forest ecosystems [*Modelirovaniye dinamiki organicheskogo veshchestva v lesnykh ekosistemakh*]. Moscow: Nauka, 2007:380.
19. Losev KS. Environmental problems and prospects for sustainable development of Russia in the 21st century [*Ekologicheskiye problemy i perspektivy ustoychivogo razvitiya Rossii v XXI veke*]. Moscow: Kosmosinform, 2001:399.
20. Morozov GF. The Study of the Forest, 3rd ed. [*Ucheniye o lese*]. Leningrad: Gosudarstvennoye izd-vo, 1926:368.
21. Mokhov II, Dufresne J-L, Tret Le E. Changes in drought regimes and bioproductivity of terrestrial ecosystems in the regions of Northern Eurasia based on calculations with the global climate model with the carbon cycle [Izmeneniye rezhimov zasukhi i bioproduktivnosti nazemnykh ekosistem v regionakh Severnoy Yevrazii po raschetam s global'noy klimaticheskoy model'yu s uglerodnym tsiklom]. *DAN.* 2005;405 (6):1-5.
22. Polynov BB. Selected works [*Izbrannyye trudy*]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1956:751.
23. Sochava VB. Vegetation cover on thematic maps [*Rastitel'nyy pokrov na tematicheskikh*

содержания органического углерода в серой лесной почве с плотностью, концентрациями металлов и рельефом // Почвоведение. № 11. С. 1344-1356. [*Shary P.A., Pinskii D.L.* 2013. Statistical Evaluation of the Relationships between Spatial Variability in the Organic Carbon Content in Gray Forest Soils, Soil Density, Concentrations of Heavy Metals, and Topography // Eurasian Soil Science. Vol. 46. No. 11. P. 1076-1087.]

30. *Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Нильссон С., Болуй Ю.И.* 2008. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). М.: Международный институт прикладного системного анализа. 885 с.
31. *Швиденко Ф.З., Кракснер Ф., Оберштайер М., Щепащенко Д.Г.* 2014. Проблема перехода к устойчивому управлению лесами России; потенциал и риски // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика», г. Красноярск, 16-19 сентября 2014 г. Новосибирск: Изд-во СО РАН. С. 14-19.
32. *Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Кракснер Ф., Онучин А.А.* 2017. Переход к устойчивому управлению лесами России: теоретико-методические предпосылки // Сибирский лесной журнал. № 6. С. 3-25.
33. *Aber J., Nelson R.P., McNulty St., Lenihan J., Bachelet D., Drapek R.* 2001. Forest Processes and Global Environmental Change: Predicting the Effects of Individual and Multiple Stressors // BioScience. Vol. 51. No. 9. P. 735-751.
34. *Alcamo J., Kreileman G.J.J., Krol M.S., Zuidema G.* 1994. Modeling the global society-boisphere-climate system/ Part 2: Computed scenarios // Water, Air, and Soil Pollution. Vol. 76. P. 37-78.

kartakh]. Novosibirsk: Nauka, 1979:189.

24. Sukachev VN. Selected works [*Izbrannyye trudy*] *Vol. 1: Fundamentals of forest typology and biogeocenology [T. 1: Osnovy lesnoy tipologii i biogeotsenologii]*. Leningrad: Nauka, 1972:418.
25. Tishkov AA. Biosphere functions of natural ecosystems of Russia [*Biosfernyye funktsii prirodnykh ekosistem Rossii*]. Moscow: Nauka, 2005:309.
26. Utkin AI. Carbon cycle and forestry [Uglerodnyy tsikl i lesovodstvo]. *Forest Science [Lesovedeniye]*. 1995;5:3-20.
27. Tselniker YuL. CO_2 gas exchange in forest biogeocenoses [*Gazoobmen CO_2 v lesnykh biogeotsenozakh*] *Ideas of biogeocenology in forest science and silviculture [Idei biogeotsenologii v lesovedenii i lesorazvedenii]*. Moscow: Nauka, 2006:213-229.
28. Shary PA. Analytical GIS Eco, demo version [*Analiticheskaya GIS Eko, d*emo-versiya]. 2001, Available at https://gis-lab.info/forum/viewtopic.php?t=10540 (Date of Access 05/10/2024).
29. Shary PA, Pinskii DL. Statistical Evaluation of the Relationships between Spatial Variability in the Organic Carbon Content in Gray Forest Soils, Soil Density, Concentrations of Heavy Metals, and Topography. *Eurasian Soil Science.* 2013;46 (11):1076-1087.
30. Shvidenko AZ, Shchepashchenko DG, Nilsson S, Bolui YuI. Tables and models of the growth and productivity of plantations of the main forest-forming species of Northern Eurasia (normative and reference materials) [*Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Severnoy Yevrazii (normativno-spravochnyye materialy)]*. Moscow: Mezhdunarodny institut prikladnogo sistemnogo analiza, 2008:885.
31. Shvidenko FZ, Kraxner F, Obersteier M, Shchepashchenko DG. The problem of transition to sustainable forest management in Russia; potential and risks [*Problema perekhoda k ustoychivomu upravleniyu lesami Rossii; potentsial i riski*] *Proc. of the All-Russian conference with international participation "Forest biogeocenoses of the boreal zone: geography, structure, functions,*

35. *Hansen J., Sato M., Ruedy R., Kharecha P., Lacis A., Miller R., Nazarenko L., Lo K., Schmidt G.A., Russell G., Aleinov I., Bauer S., Baum E., Cairns B., Canuto V., Chandler M., Cheng Y., Cohen A., Genio del A., Faluvegi G., Fleming E., Friend A., Hall T., Jackman C., Jonas J., Kelley M., Kiang N.Y., Koch D., Labow G., Lerner J., Menon S., Novakov T., Oinas V., Perlwitz Ja., Perlwitz Ju., Rind D., Romanou A., Schmunk R., Shindell D., Stone P., Sun S., Streets D., Tausnev N., Thresher D., Unger N., Yao M., Zhang S.* 2007. Climate Simulations for 1880-2003 with GISS Model E // Climate Dynamics. Vol. 29. P. 661-696.
36. *Houghton J.T., Meira Filho L.G., Callander B.A., Harris N., Katternberg A., Maskell K., Lakeman J.A.* 1996. Climate Change 1995: The Science of Climatic Change. Cambridge, UK: The Cambridge University Press. 572 p.
37. *King D., Bourennane H., Isampert M., Macaire J.J.* 1999. Relationship of the Presence of a Non-calcareous Clay-Loam Horizon to DEM Attributes in a Gently Sloping Area // Geoderma. Vol. 89. No. 1-2. P. 95-111.
38. *Le Quere C., Moriary R., Andrew R.M., Peters G.P., Ciais P., Friedlingstein P., Jones S.D., Sitch S., Tans P., Arneth A., Boden T.A., Bopp L., Bozec Y., Canadell J.G., Chini L.P., Chevallier F., Cosca C.E., Harris I., Hoppema M., Houghton R.A., House J.I., Jain A.K., Johannessen T., Kato E., Keeling R.F., Kitidis V., Klein Goldewijk K., Koven C., Landa C.S., Landschützer P., Lenton A., Lima I.D., Marland G., Mathis J.T., Metzl N., Nojiri Y., Olsen A., Ono T., Peng S., Peters W., Pfeil B., Poulter B., Raupach M.R., Regnier P., Rödenbeck C., Saito S., Salisbury J.E., Schuster U., Schwinger J., Séférian R., Segschneider J., Steinhoff T., Stocker B.D., Sutton A.J., Takahashi T., Tilbrook B., van der Werf G.R., Viovy N., Wang Y.-P., Wanninkhof R., Wiltshire A., Zeng N.* 2015. Global Carbon Budget 2014 // Earth System Science Data.

dynamics", Krasnoyarsk, September 16-19, 2014 *[Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem "Lesnyye biogeotsenozy boreal'noy zony: geografiya, struktura, funktsii, dinamika"]*. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2014:14-19.

32. Shvidenko AZ, Shchepashchenko DG, Kraxner F, Onuchin AA. Transition to sustainable forest management in Russia: theoretical and methodological prerequisites [Perekhod k ustoychivomu upravleniyu lesami Rossii: teoretiko-metodicheskiye predposylki]. *Siberian Forest Journal [Sibirskiy lesnoy zhurnal]*. 2017;6:3-25.
33. Aber J, Nelson RP, McNulty St, Lenihan J, Bachelet D, Drapek R. Forest Processes and Global Environmental Change: Predicting the Effects of Individual and Multiple Stressors. *BioScience.* 2001;51 (9):735-751.
34. Alcamo J, Kreileman GJJ, Krol MS, Zuidema G. Modeling the global society-boisphere-climate system/ Part 2: Computed scenarios. *Water, Air, and Soil Pollution.* 1994;76:37-78.
35. Hansen J, Sato M, Ruedy R, Kharecha P, Lacis A, Miller R, Nazarenko L, Lo K, Schmidt GA, Russell G, Aleinov I, Bauer S, Baum E, Cairns B, Canuto V, Chandler M, Cheng Y, Cohen A, Genio del A, Faluvegi G, Fleming E, Friend A, Hall T, Jackman C, Jonas J, Kelley M, Kiang NY, Koch D, Labow G, Lerner J, Menon S, Novakov T, Oinas V, Perlwitz Ja, Perlwitz Ju, D Rind, Romanou A, Schmunk R, Shindell D, Stone P, Sun S, Streets D, Tausnev N, Thresher D, Unger N, Yao M, Zhang S. Climate Simulations for 1880-2003 with GISS Model E. *Climate Dynamics.* 2007;29:661-696.
36. Houghton JT, Meira Filho LG, Callander BA, Harris N, Katternberg A, Maskell K, Lakeman JA. Climate Change 1995: The Science of Climatic Change. Cambridge, UK: The Cambridge University Press, 1996:572.
37. King D, Bourennane H, Isampert M, Macaire JJ 1999. Relationship of the Presence of a Non-calcareous Clay-Loam Horizon to DEM Attributes in a Gently Sloping Area // Geoderma. Vol. 89. No. 1-2. P. 95-111.
38. Le Quere C, Moriary R, Andrew RM, Peters GP, Ciais P, Friedlingstein P, Jones SD, Sitch S, Tans P, Arneth A, Boden TA, Bopp L,

Vol. 7. No. 1. P. 47-85.
39. *Montgomery D.C., Peck E.A*. 1982. Introduction to linear regression analysis. N.Y.: John Wiley & Sons. 504 p.
40. Paris Agreement. 2015. Conference of the Parties Twenty-first session, Paris, 30 November to 11 December, 2015. 19 p.
41. *Pope V.D., Gallani M.L., Rowntree P.R., Stratton R.A.* 2000. The Impact of New Physical Parametrizations in Hadley Centre Climate Model – HadCM3 // Climate Dynamics. Vol. 16. P. 123-146.
42. *Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V.* 2002. Fundamental Quantitative Methods of Land Surface Analysis // Geoderma. Vol. 107. No. 1-2. P. 1-32.
43. *Stinson G., Kurz W.A., Smyth C.E., Neilson E.T., Dymond C.C., Metsaranta J.M., Boisvenue C., Rampley G.J., Li Q., White T.M., Blain D.* 2011. An inventory-based of Canada's Managed Forest Carbon Dynamics, 1900 to 2008 // Global Change Biology. Vol. 17. No. 6. P. 2227-2244.

Bozec Y, Canadell JG, Chini LP, Chevallier F, Cosca CE, Harris I, Hoppema M, Houghton RA, House JI, Jain AK, Johannessen T, Kato E, Keeling RF, Kitidis V, Klein Goldewijk K, Koven C, Landa CS, Landschützer P, Lenton A, Lima ID, Marland G, Mathis JT, Metzl N, Nojiri Y, Olsen A, Ono T, Peng S, Peters W, Pfeil B, Poulter B, Raupach MR, Regnier P, Rödenbeck C, Saito S, Salisbury JE, Schuster U, Schwinger J, Séférian R, Segschneider J, Steinhoff T, Stocker BD, Sutton AJ, Takahashi T, Tilbrook B, van der Werf GR, Viovy N, Wang Y-P, Wanninkhof R, Wiltshire A, Zeng N. Global Carbon Budget 2014. *Earth System Science Data.* 2015;7 (1):47-85.
39. Montgomery DC, Peck EA. Introduction to linear regression analysis. N.Y.: John Wiley & Sons, 1982:504.
40. Paris Agreement. Conference of the Parties Twenty-first session, Paris, 30 November to 11 December, 2015. 2015:19.
41. Pope VD, Gallani ML, Rowntree PR, Stratton RA. The Impact of New Physical Parametrizations in Hadley Centre Climate Model – HadCM3. *Climate Dynamics.* 2000;16:123-146.
42. Shary PA, Sharaya LS, Mitusov AV. Fundamental Quantitative Methods of Land Surface Analysis. *Geoderma.* 2002;107 (1-2):1-32.
43. Stinson G, Kurz WA, Smyth CE, Neilson ET, Dymond CC, Metsaranta JM, Boisvenue C, Rampley GJ, Li Q, White TM, Blain D. An inventory-based of Canada's Managed Forest Carbon Dynamics, 1900 to 2008. *Global Change Biology.* 2011;17 (6):2227-2244.

UDC 502.53; 551.3; 551.509.58; 551.581.1

ASSESSMENT OF THE ROLE THAT FOREST COVER OF THE VOLGA RIVER BASIN PLAYS IN THE REGULATION OF CARBON CYCLE AND MITIGATION OF GLOBAL WARMING (PREDICTIVE EMPIRICAL-STATISTICAL MODELING)

© 2024 г. E.G. Kolomyts

Institute for Fundamental Problems of Biology of the Russian Academy of Sciences, 2, Institutskaya Str., Pushchino, 142290, Moscow, Russia. E-mail: egk2000@mail.ru

Received August 10, 2024. Revised August 30, 2024. Accepted September 01, 2024.

Using the forest ecosystems of the Volga Basin as an example, the discrete empirical-statistical

models were developed to predict future biotic regulation of the carbon cycle in the "forest–atmosphere" system under two climate scenarios, moderate (according to the E GISS model) and extreme (according to the HadCM3 model). Based on the specific and total values of the carbon balance of forest formations, we carried out a quantitative assessment of their environmental resources that ensure positive cycle regulation. Based on the models, certain local rows and zonal-regional types of atmospheric CO_2 regulation by forest cover during the development of climate thermal aridization were identified for each ecological region. The structure of carbon balance for forest biogeocoenoses of different ecological regions is described. A comparative analysis of carbon parameters was carried out for two conventional types of forest ecosystems: the restored indigenous forests and the actual forest cover (indigenous + derived forests). It was revealed that the replacement of indigenous forests (coniferous, mixed, broad-leaved) with derivatives forests (small-leaved) leads to a general, very significant reduction in the ecological resources of the forest cover. Verification of the carbon balance models was carried out for the boreal forests of Central Canada.

Results of benchmark calculations of annual and average ecosystem carbon flow in Canadian forests for 1990-2001 turned out to be close to the forecasted values of the carbon balance of the Volga Basin forests for the period up to 2050, but only according to the HadCM3 model, the climate scenarios of which are adequate to the current rate of global warming, but do not correspond to the norm set by the Paris Agreement (2015). Based on virtual forecasting ecological maps of the Oka Basin, the partial contribution of forest formations to the biotic regulation of the carbon cycle was assessed, which can be used in the strategy of afforestation in currently deforested areas. These results signify another step towards transformation of the Gorshkov–Utkin concepts on the ecological forests resources in the carbon cycle regulation into a full-fledged scientific and methodological concept.

Conflict of Interest. This article was not written from scratch as it is a result of the author's long-term scientific research in geographical ecology, and, thus, is based on the materials of his publications, some of which are listed in the References. Therefore, the author admits there may be a conflict of interest with a reader/reviewer who is not familiar with the author's scientific and methodological researches.

Funding. The work was carried out as part of the project of the Russian Foundation for Basic Research No. 18-05-00024-a "Structural and Functional Organization, Stability and Carbon Balance of Forest Geosystems of the Volga Basin under Global Climate Change: Predictive Empirical-Statistical Modeling".

Keywords: forest ecosystems, boreal belt, primary and derived forests, biological cycle, carbon pools, climate change, carbon balance, ecological resources of forest cover, regulation of the carbon cycle.

DOI: 10.24412/2542-2006-2024-3-5-35

EDN: APBQTP

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2024, том 8, № 3, с. 36-51

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ, ПОДДЕРЖАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 502.054.2; 502.057; 502.472; 504.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЛОВУШЕК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ НА ПРИМЕРЕ ЗЕЙСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2024 г. Д.С. Чемирская*, С.А. Подольский*, **

**Зейский государственный заповедник*
Россия, 676246, Амурская область, г. Зея, ул. Строительная, д. 71. E-mail: zzap@mail.ru
***Институт водных проблем РАН*
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: sergpod@mail.ru

Поступила в редакцию 01.06.2024. После доработки 30.06.2024. Принята к публикации 01.08.2024.

Описан первый опыт применения фотоловушек для определения плотности населения и особенностей поведения мелких млекопитающих на территории Зейского государственного природного заповедника. Использована оригинальная методика учета крупных и средних млекопитающих с помощью фотоловушек, где в качестве итогового количественного показателя рассматривается нагрузка определенного вида на площадь зоны фото-видеорегистрации за единицу времени (месяц, декада, общее время экспозиции), выраженную в количестве особей на единицу площади (Подольский и др., 2020). Устанавливалась камера Browning Recon Force Advantage, высокая скорость срабатывания которой (0.4 сек) позволила применить данную методику по отношению к мелким млекопитающим. Основным объектом исследования была колония северной пищухи (*Ochotona hyperborean* Pallas, 1811) на каменистой осыпи в пределах лесного пояса. Анализировались регистрации всех видов зверей на колонии в течение двух летне-осенних сезонов (2022 и 2023 гг.). Для крупных и средних млекопитающих полученные показатели плотности населения, сравнивались с результатами учетов стандартными методами. По результатам сравнений оценивалась возможность использования метода для одновременно учета различных видов мелких и крупных зверей. Показано влияние особенностей установки фотоловушек на результаты учета численности пищух и эффективность изучения их поведения.

Ключевые слова: фотоловушки, методика учета, мелкие млекопитающие, плотность населения, поведенческие реакции.
DOI: 10.24412/2542-2006-2024-3-36-51
EDN: DBCAVG

В Зейском заповеднике при помощи фотоловушек производят оценку численности средних и крупных наземных зверей (Подольский и др., 2020). Такая методика ранее применялась только к крупным млекопитающим, так как прежние модели фотоловушек не успевали зафиксировать в кадре большую часть мелких зверьков. На данный момент в заповеднике есть фотоловушки, которые могут справиться с этой задачей. Это модели Browning Recon Force Advantage с заявленной скоростью срабатывания 0.4 секунды.

Основным объектом исследования с помощью фотоловушек была выбрана северная пищуха (*Ochotona hyperborean* Pallas, 1811). Пищухи в заповеднике встречаются на россыпях камней в различных биотопах во всех высотных поясах (фото 1), в т.ч. среди лиственничных, лиственнично-березовых и еловых лесов. Поселения этого вида носят колониальный характер. Оценивалась возможность использования фотоловушек для определения плотности населения северной пищухи в пределах одной колонии, а также для изучения образа жизни и поведенческих реакций данного вида. При этом показано влияние

особенностей установки фотоловушек на результаты учета численности пищух и эффективность изучения их поведения.

Кроме того, анализировались регистрации всех видов зверей на колонии в течение двух летне-осенних сезонов (2022 и 2023 гг.). Для крупных и средних млекопитающих полученные показатели плотности населения, сравнивались с результатами учетов стандартными методами (Кузякин и др., 1990; Русанов, 1986; Пучковский, Сунцова, 1991). По результатам сравнений оценивалась возможность использования метода для одновременного учета различных видов мелких и крупных зверей.

Фото 1. Северная пищуха – характерный вид каменистых россыпей (фото С. Подольского).
Photo 1. The northern pika is a common species of the stone runs (photo by S. Podolsky).

Материалы и методы

Оценка плотности населения пищухи в колониях. Для определения плотности населения северной пищухи использовали тот же метод, что и при расчете численности крупных млекопитающих на основании данных регистраций фотоловушками (Подольский и др., 2020). Он позволяет с помощью фотоловушек, без дополнительных пересчетных коэффициентов, получать количественные оценки численности средних и крупных наземных зверей, сравнимые с результатами общепринятых методик определения плотности населения млекопитающих. В качестве итогового количественного показателя рассматривается нагрузка определенного вида на площадь зоны фото-видеорегистрации (далее регистрации) за единицу времени (месяц, декада, общее время экспозиции и т.п.), выраженную в количестве особей на единицу площади, например, особей на 1000 га.

При получении искомого показателя плотности населения (D), отражающего нагрузку на

зону регистрации, используется формула:

$$D = 10\,000\,000k\frac{T_r}{T_t S_r},$$

где Tr – суммарное время нахождения животных учитываемого вида зверей в зоне регистрации в секундах; Tt – время работы (экспозиции) фотоловушки в секундах; Sr – площадь зоны регистрации в квадратных метрах, k = 1 ос. – коэффициент, обеспечивающий совпадение размерностей в левой и правой частях формулы, 10000000 м^2 = 1000 га. При одновременном появлении в зоне регистрации нескольких особей одного вида, время пребывания этих животных суммируется.

Для исследования был выбран курумник на склоне в долине реки Большая Эракингра, у подножия сопки (географические координаты: 54.05189° с.ш., 126.52337° в.д.). Биотоп – тополево-чозениевый лес с участием лиственницы и ели аянской. Использованы фотоловушки модели Browning Recon Force Advantage. Данные фотоловушки улавливают присутствие в кадре мелких животных за счет быстрой сработки датчика движения и производят фото- и видеосъемку высокого качества.

В пределах колонии отмечались регистрации фотоловушкой всех видов зверей в течение летне-осенних сезонов 2022 и 2023 гг. и определялись показатели плотности их населения (табл. 1, 2). Кроме того, для пищухи отмечались наиболее характерные элементы поведения: запасание корма, пищевое поведение, груминг, вокализация, ориентировочное поведение (табл. 3). Для крупных и средних млекопитающих показатели плотности населения, рассчитанные по данным фотоловушек, сравнивались с результатами учетов стандартными методами: зимнего маршрутного учета (Кузякин и др., 1990), многодневного оклада (Русанов, 1986), идентификации медведей по следам на грунте (Пучковский, Сунцова, 1991), полученными на сопредельной территории или непосредственно в бассейне р. Большая Эракингра. Ближайшим местом, где в 2022 и 2023 гг. проводились учеты многодневным окладом, является площадка «Каменушка», расположенная на том же (южном) макросклоне хребта Тукирингра, примерно в 10-11 км западнее места установки фотоловушки в долине р. Большая Эракингра (табл. 4).

Латинские названия видов приведены по монографии «Млекопитающие России: список видов и прикладные аспекты» (Лисовский и др., 2019).

Результаты и обсуждение

Оценка плотности населения зверей в пределах колонии северной пищухи в 2022 году

В 2022 году подсчет плотности населения производили на площади видео регистрации 24.6 м^2 (табл. 1). В ходе первой съемки было получено много видеофиксаций крупных млекопитающих. В зону регистрации фотоловушки неудачно включили склон, из-за чего пищухи исследуемой колонии реже попадали в кадр. Экспозиция видео составляла всего 5 секунд, тогда как пищуха и другие животные могли находиться в кадре дольше. Предполагается, что за счет упомянутых недостатков установки камеры в 2022 году был существенный недоучет всех видов зверей; в первую очередь – пищухи.

Северная пищуха (*Ochotona hyperborean* Pallas, 1811) стала появляться в зоне регистрации фотоловушки с августа. В этом месяце расчет плотности населения данного вида показал 10.32 ос./1000 га, когда пищухи часто прятались между камней, проявляли ориентировочное поведение (фото 2), иногда кормились (фото 3). С июня по ноябрь расчет плотности населения пищухи показал 4.16 ос./1000 га (табл. 1). Учитывая тот факт, что пищухи – оседлые животные, для оценки плотности населения колонии в 2022 году целесообразно использовать данные за август, когда эти зверьки были наиболее активны.

Однако и этот показатель представляется сильно заниженным из-за неудачного выбора зоны регистрации и минимальной длительности записи (5 сек.) фотоловушки.

Таблица 1. Плотность населения животных на участке регистрации фотоловушки № 1 с июня по ноябрь 2022 г. (площадь зоны регистрации – 24.6 м^2). **Table 1.** Population density of various animals registered with the trap camera No. 1 in June-November 2022 (camera coverage area – 24.6 m^2).

Виды		Продолжительность работы фотоловушки (сек.)						
		Июнь	Июль	Август	Сент.	Окт.	Ноябрь	Всего
		127860	2678400	2678400	2592000	2678400	1078380	11833440
Белка	регистрация (сек.)	0	4	4	31	10	0	49
	особей на 1000 га	0	0.61	0.61	4.86	1.52	0	1.68
Косуля	регистрация (сек.)	0	6	0	0	0	0	6
	особей на 1000 га	0	0.91	0	0	0	0	0.21
Бурундук	регистрация (сек.)	0	2	22	8	0	0	32
	особей на 1000 га	0	0.3	3.34	1.25	0	0	1.1
Пищуха	регистрация (сек.)	0	0	68	53	0	0	121
	особей на 1000 га	0	0	10.32	8.31	0	0	4.16
Медведь	регистрация (сек.)	3	0	0	0	0	0	3
	особей на 1000 га	9.54	0	0	0	0	0	0.1
Соболь	регистрация (сек.)	0	0	13	0	3	0	16
	особей на 1000 га	0	0	1.97	0	0.46	0	0.55
Летяга	регистрация (сек.)	0	0	0	0	5	0	5
	особей на 1000 га	0	0	0	0	0.76	0	0.17

Обыкновенная белка (*Sciurus vulgaris* Linnaeus, 1758) чаще всего регистрировалась в сентябре; плотность населения – 4.86 ос./1000 га. В это время зверек часто пробегал перед камерой с еловыми шишками в зубах, а также исследовал лесную подстилку. В июле отмечена одна регистрация белки с рыжим окрасом (фото 4), на всех остальных видеофиксациях (N = 15) зверьки данного вида имели темный окрас (фото 5). С июня по ноябрь плотность населения белки составила 1.68 ос./1000 га (табл. 1), что существенно ниже показателей зимних учетов – 7.3 ос./1000 га (табл. 4).

Обыкновенная летяга (*Pteromys volans* Linnaeus, 1758) отмечалась единожды в октябре (фото 6). Плотность населения составила 0.76 ос./1000 га. Однако в конце сентября наблюдалось несколько кадров, когда мелкое животное, которое не удалось идентифицировать, карабкалось по защите фотоловушки. Можно предположить, что это была летяга. С июня по ноябрь плотность населения летяги составила 0.17 ос./1000 га (табл. 1), что на порядок ниже показателей зимних учетов по следам – 1.7 ос./1000 га (табл. 4).

Таблица 2. Плотность населения животных на участке регистрации фотоловушки № 1 с мая по ноябрь 2023 г. (площадь зоны регистрации – 15.13 м^2). **Table 2.** Population density of various animals registered with the trap camera No. 1 in May-November 2023 (camera coverage area – 15.13 m^2).

Виды		Продолжительность работы фотоловушки (сек.)							
		Май	Июнь	Июль	Август	Сент.	Окт.	Ноябрь	Всего
		1079220	2592000	2678400	2678400	2591580	2678400	914400	15212400
Белка	регистрация (сек.)	2	3	12	8	25	5	0	55
	особей на 1000 га	1.22	0.76	2.96	1.97	6.38	1.23	0	2.39
Косуля	регистрация (сек.)	0	0	0	0	0	0	0	0
	особей на 1000 га	0	0	0	0	0	0	0	0
Бурундук	регистрация (сек.)	0	0	2	23	0	0	0	25
	особей на 1000 га	0	0	0.49	5.68	0	0	0	1.09
Пищуха	регистрация (сек.)	0	0	32	460	2129	393	0	3014
	особей на 1000 га	0	0	7.9	113.51	542.97	96.98	0	130.95
Изюбрь	регистрация (сек.)	4	0	0	0	0	0	0	4
	особей на 1000 га	2.45	0	0	0	0	0	0	0.17
Соболь	регистрация (сек.)	0	21	0	41	10	0	0	72
	особей на 1000 га	0	5.35	0	10.12	2.55	0	0	3.13
Летяга	регистрация (сек.)	0	5	0	0	0	0	0	5
	особей на 1000 га	0	1.27	0	0	0	0	0	0.22

Азиатский бурундук (*Eutamias sibiricus* Laxmann, 1769) достиг наибольших показателей численности в августе – 3.34 ос./1000 га. В среднем за июнь-ноябрь плотность населения составила 1.10 ос./1000 га (табл. 1). По нашим оценкам это значительно ниже реальных показателей численности данного вида.

Соболь (*Martes zibellina* Linnaeus, 1758) в зоне регистрации фотоловушки наблюдался сравнительно редко. Когда появлялся в кадре, часто обнюхивал камни. Наибольшая плотность населения отмечалась в августе – 1.97 ос./1000 га. С июня по ноябрь этот показатель составил в среднем 0.55 ос./1000 га (табл. 1), что более чем на порядок ниже плотности населения, зарегистрированной при многодневном окладе – 14.4 ос./1000 га (табл. 4).

Таблица 3. Поведенческие реакции северной пищухи на участке регистрации фотоловушки № 1 с мая по ноябрь 2023 г. **Table 3.** Behavior of the northern pika caught on the trap camera No. 1 in May-November 2023.

Поведенческие реакции	**Число регистраций**						
	Май	**Июнь**	**Июль**	**Август**	**Сентябрь**	**Октябрь**	**Ноябрь**
Исследовательское поведение	0	0	5	0	2	1	0
Ориентировочное поведение	0	0	1	9	18	10	0
Пищевое поведение	0	0	0	2	4	0	0
Запасание корма	0	0	0	4	27	4	0
Груминг	0	0	1	0	0	0	0
Вокализация	0	0	0	1	0	0	0

Таблица 4. Результаты учетов млекопитающих многодневным окладом на площадке «Каменушка» (S = 750 га). **Table 4.** Census results for mammals using the multi-day monitoring in the key area “Kamenushka” (S = 750 ha).

Виды	**Годы и даты учетов**			
	2022 г. (07.02 – 10.02)		**2023 г. (01.03 – 04.03)**	
	особей на площадке (в среднем за 4 суток)	**особей на 1000 га**	**особей на площадке (в среднем за 4 суток)**	**особей на 1000 га**
Соболь (*Martes zibellina*)	10.8	14.4	8.5	11.3
Ласка (*Martes zibellina*)	0.8	1.1	1.0	1.33
Росомаха (*Gulo gulo*)	0.25	0.7	0.13	0.17
Рысь (*Lynx lynx*)	0	0	0.13	0.17
Белка (*Sciurus vulgaris*)	5.5	7.3	2.25	3.0
Летяга (*Pteromys volans*)	1.3	1.7	0.5	0.67
Сибирская косуля (*Capreolis pygargus*)	4.0	5.3	0	0
Изюбрь (*Cervus elaphus*)	1,0	1.3	0.75	1.0
Лось (*Alces alces*)	1,0	1.3	0	0

Фото 2. Ориентировочное поведение пищухи (фото С. Подольского).
Photo 2. Orienting behavior of a northern pika (photo by S. Podolsky).

Фото 3. Пищуха (справа) кормится (фото Д. Чемирской).
Photo 3. A northern pika (on the right) is feeding (photo by D. Chemirskaya).

Фото 4. Белка рыжего окраса (фото Д. Чемирской).
Photo 4. A red squirrel with red coat (photo by D. Chemirskaya).

Фото 5. Белка темного окраса делает запасы (фото Д. Чемирской).
Photo 5. A red squirrel with dark coat is stocking up (photo by D. Chemirskaya).

Фото 6. Обыкновенная летяга (фото С. Подольского).
Photo 6. A Siberian flying squirrel (photo by S. Podolsky).

Бурый медведь (*Ursus arctos* Linnaeus, 1758) в начале работы фотоловушки отмечался один раз в конце июня – зверь среднего размера, поднимался на сопку (фото 7). Плотность населения с июня по ноябрь составила 0.10 ос./1000 га (табл. 1), что примерно соответствует средней плотности населения медведя в Зейском заповеднике – 0.14-0.18 ос./1000 га (Подольский, Красикова, 2003).

Сибирская косуля (*Capreolis pygargus* Pallas, 1771) отмечалась дважды в начале июля – поднималась на сопку (фото 8). Плотность населения за июль – 0.91 ос./1000 га, с июня по ноябрь – 0.21 ос./1000 га (табл. 1). Хотя этот показатель примерно в 20 раз ниже зафиксированного на площадке «Каменушка» (табл. 4), нельзя с полной уверенностью говорить о существенном недоучете косули. Данные зимних маршрутных учетов и регистрации встреч на маршрутах во все сезоны говорят, что в последние годы непосредственно в бассейне Большой Эракингры косуля была крайне малочисленна.

Оценка плотности населения зверей в пределах колонии северной пищухи в 2023 году

В 2023 году скорректировали постановку камеры в долине р. Б. Эракингра и заново замерили площадь регистрации; она составила 15.13 м^2. Ранее в долине фотоловушка снимала на большей площади, но доля курумника была невелика; после переустановки в кадре увеличилась доля курумника с колонией. Длительность работы камеры в режиме «видео» была увеличена до 10 секунд. Корректировки ориентации и режима работы фотоловушки сделали возможным полнее охватить колонию пищух, более подробно зафиксировать поведение зверьков и точнее определить плотность их населения на данном участке (табл. 2).

Фото 7. Медведь прошел через колонию пищух (фото Д. Чемирской).
Photo 7. A brown bear is walking through the pikas' colony (photo by D. Chemirskaya).

Фото 8. Косуля поднимается на сопку вдоль верхней границы колонии пищух (фото Д. Чемирской). **Photo 8.** A roe deer is walking up the gentle slope along the upper boundary of the pikas' colony (photo by D. Chemirskaya).

Северная пищуха (*Ochotona hyperborean* Pallas, 1811) стала появляться в зоне регистрации с июля. Наибольший показатель плотности населения, который составил 542.97 ос./1000 га, наблюдали в сентябре. В это время пищуха активно собирала опавшие листья и кормилась. С мая по ноябрь средняя плотность населения составила 130.95 ос./1000 га. Поскольку пищухи – оседлые животные, для оценки плотности их населения целесообразно использовать данные за сентябрь, когда они наиболее активны.

Из-за изменившихся условий съемки в 2023 году показатели оказались намного больше, чем в 2022 г. Нельзя определенно сказать, насколько увеличилась численность пищухи, т.к. расчет производили в других условиях и на другую площадь. В дальнейшем для наблюдений за динамикой численности зверьков в данной колонии фотоловушка будет наведена на ту же скорректированную зону видеорегистрации.

В 2023 году более детально рассмотрено поведение пищухи (табл. 3). Так, ориентировочное поведение зверьки проявляли в сентябре – 18 регистраций, в это же время они раскладывали листья и части растений под камнями (делали и сушили запасы) – 27 регистраций (фото 9), а также поедали листья – 4 регистрации. Исследовательское поведение отмечалось 5 раз в июле. Вокализацию и груминг отмечали по 1 разу в августе и июле соответственно.

Фото 9. Пищуха заготавливает корм (фото С. Подольского).
Photo 9. A northern pika is stocking up (photo by S. Podolsky).

Обыкновенная белка (*Sciurus vulgaris* Linnaeus, 1758) чаще всего регистрировалась в сентябре; плотность населения – 6.38 ос./1000 га. В это время зверек часто пробегал перед камерой с еловыми шишками в зубах, а также исследовал лесную подстилку. Стоит отметить, что в 2022 году из-за ветра повалило много елей в пределах площади регистрации. С мая по ноябрь 2023 года средняя плотность населения белки составила 2.39 ос./1000 га

(табл. 2), что немного ниже результата учета многодневным окладом – 3.0 ос./1000 га (табл. 4).

Обыкновенная летяга (*Pteromys volans Linnaeus,* 1758) отмечалась единожды в июне; плотность населения составила 1.27 ос./1000 га. В окрестностях кордона отмечено два дерева со следами жизнедеятельности летяг (фото 10). С мая по ноябрь плотность населения составила 0.22 ос./1000 га (табл. 2). Это в 3 раза меньше, чем на площадке многодневного оклада «Каменушка» – 0.67 ос./1000 га (табл. 4). Учитывая наличие двух точек, регулярно посещаемых летягами (деревья с характерным пометом), в непосредственной близости от фотоловушки, можно с уверенностью констатировать значительный недоучет данного вида.

Фото 10. Помет летяги (фото С. Подольского).
Photo 10. Droppings of a Siberian flying squirrel (photo by S. Podolsky).

Азиатский бурундук (*Eutamias sibiricus* Laxmann, 1769) чаще всего регистрировался в августе. Показатель плотности населения – 5.68 ос./1000 га; за май-ноябрь плотность составила 1.09 ос./1000 га.

Соболь (*Martes zibellina* Linnaeus, 1758) проявлял активное охотничье поведение

по отношение к пищухам в колонии, а один раз был отмечен в кадре с добычей (фото 11). Наибольшая плотность населения – в августе, во время частого посещения поселения пищух – 10.12 ос./1000 га. С мая по ноябрь этот показатель в среднем составил 3.13 ос./1000 га (табл. 2), что значительно ниже результатов зимнего учета – 11.3 ос./1000 га (табл. 4).

Изюбрь (*Cervus elaphus* Linnaeus, 1758) на рассматриваемой территории – обычный вид. Самца заметили один раз в мае; плотность населения составила 2.45 ос./1000 га. С мая по ноябрь средняя плотность населения изюбря составила 0.17 ос./1000 га (табл. 2), что примерно в 5 раз ниже аналогичного показателя зимнего учета в 2023 г. (табл. 4). При этом нет оснований говорить о существенной ошибке рассматриваемого метода при учете изюбря. Максимальная плотность населения, отмеченная фотоловушкой в мае (единственная регистрация изюбря), практически сходна с результатами учетов на площадке «Каменушка» в 2022 и 2023 гг. Из-за небольшой площади зоны регистрации попадание изюбря и других крупных зверей в кадр в значительной степени зависит от случая.

Фото 11. Соболь с добычей на колонии пищух (фото Д. Чемирской).
Photo 11. Sable with a prey in the pikas' colony (photo by D. Chemirskaya).

Выводы

Модель фотоловушки Browning Recon Force Advantage успешно регистрирует как крупных и средних, так и многих мелких млекопитающих, однако в отношении учета последних имеются серьезные ограничения. Для таких видов, как летяга и белка, проводящих значительную часть времени на деревьях, корректное определение плотности населения по данным фотоловушек невозможно, т.к. оно всегда дает значительный недоучет. В определенной степени это касается и бурундука. Весьма существенный недоучет отмечен также для соболя. Возможно, скорость передвижения этого активного зверька часто бывает столь велика, что на него не всегда успевают реагировать даже самые чувствительные

камеры.

Фотоловушки могут применяться для определения плотности населения пищух в поселениях и исследования их образа жизни. Обязательным условием является оптимальное наведение камеры непосредственно на жилую колонию и установка длительности видеорегистрации не менее 10 секунд. Учитывая тот факт, что пищухи – оседлые животные, для оценки плотности населения в колониях целесообразно использовать данные за август или сентябрь, когда эти зверьки наиболее активно заготавливают корм на зиму. При правильной установке оборудования можно изучать разнообразные поведенческие реакции пищух и их взаимоотношения с другими видами: соболями, которые охотятся на этих зверьков; копытных, которые разыскивают запасы сеноставок и др. Примечательно, что в августе 2022 и 2023 гг. отмечалась повышенная активность соболя, что косвенно свидетельствует о его концентрации на колонии пищух в период их активной заготовки кормов.

Фотоловушки, ориентированные на учет пищух, надежно регистрируют и крупных млекопитающих. Так, камера, работавшая на колонии сеноставок в летне-осенние сезоны 2022 и 2023 гг., зафиксировала медведя, изюбря и косулю. Расчеты плотности населения этих видов по данным фотоловушки показали в целом сопоставимые результаты со стандартными методами учета. Однако из-за небольшой площади зоны регистрации одной фотоловушки попадание крупных зверей в кадр в значительной степени зависит от случая. Поэтому для объективной оценки плотности населения крупных хищников и копытных целесообразно объединять данные всех фотоловушек, установленных в сходных лесных биотопах, в т.ч. расположенных на колониях пищух.

По отношению к мелким млекопитающим метод требует дальнейшей доработки, особенно в части выбора зон регистрации и режима работы камер. После нахождения в 2023 г. оптимальной зоны регистрации фотоловушки в долине р. Большая Эракингра ее данные можно использовать для сбора информации о динамике показателей численности пищух в данной колонии, постоянного мониторинга и построения временных рядов.

Финансирование. Работа выполнена по теме № 1-22-37-1 Зейского государственного заповедника «Динамика явлений и процессов в экосистемах Зейского заповедника и национального парка “Токинско-Становой”», а также в рамках темы № FMWZ-2022-0001 госзадания Института водных проблем РАН «Исследования процессов гидрологического цикла суши и формирования водных ресурсов, геофизических процессов в водных объектах и их бассейнах, формирования экстремальных гидрологических явлений и динамики гидрологических систем с учетом изменяющихся климатических условий и антропогенных факторов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кузякин В.А., Челинцев Н.Г., Ломанов И.К.* 1990. Методические указания по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учета охотничьих животных в РСФСР. М.: ЦНИЛ Главохоты РСФСР. 51 с.
2. *Лисовский А.А., Шефтель Б.И., Савельев А.П., Ермаков О.А.,*

REFERENCES

1. Kuzyakin VA, Chelintsev NG, Lomanov IK. Guidelines for organizing, conducting and processing data from winter route registration of game animals in the RSFSR [*Metodicheskiye ukazaniya po organizatsii, provedeniyu i obrabotke dannykh zimnego marshrutnogo ucheta okhotnich'ikh zhivotnykh v RSFSR*]. Moscow: TSNIL Glavokhoty RSFSR, 1990:51.
2. Lisovsky AA, Sheftel BI, Savelyev AP, Ermakov OA, Kozlov YuA, Smirnov DG,

Козлов Ю.А., Смирнов Д.Г., Стахеев В.В., Глазов Д.М. 2019. Млекопитающие России: список видов и прикладные аспекты // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. Т. 56. М.: Тов-во научных изданий КМК. 191 с.

3. *Подольский С.А., Красикова Е.К.* 2003. Летне-осенние концентрации бурого медведя на гольцах хребта Тукурингра // Териофауна России и сопредельных территорий: VII съезд Териологического общества. Материалы Международного совещания, г. Москва, 6-7 февраля 2003 г. М. С. 267.
4. *Подольский С.А., Кастрикин В.А., Красикова Е.К., Левик Л.Ю., Чемирская Д.С.* 2020. Новый метод использования фотоловушек для оценки обилия и выявления характерных особенностей населения млекопитающих различных местообитаний на примере Зейского заповедника // Экосистемы: экология и динамика. Т. 4. № 2. С. 46-64.
5. *Пучковский С.В., Сунцова Г.Л.* 1991. Некоторые методические вопросы количественного изучения следов бурого медведя в связи с проблемой различения особей // Медведи в СССР. Новосибирск: Наука. С. 39-48.
6. *Русанов Я.С.* 1986. Основы охотоведения. М.: Изд-во МГУ. 160 с.

Stakheev VV, Glazov DM. Mammals of Russia: list of species and applied aspects [*Mlekopitayushchiye Rossii: spisok vidov i prikladnyye aspekty*] *Collection of works of the Zoological Museum of Moscow State University [Sbornik trudov Zoologicheskogo muzeya MGU].* Moscow: Tov-vo nauchnykh izdaniy KMK, 2019;56:191.

3. Podolsky SA, Krasikova EK. Summer-autumn concentrations of brown bears on the bare mountains of the Tukuringra ridge [*Letne-osenniye kontsentratsii burogo medvedya na gol'tsakh khrebta Tukuringra*] *Theriofauna of Russia and adjacent territories [Teriofauna Rossii i sopredel'nykh territoriy] VII Congress of the Theriological Society [VII s"yezd Teriologicheskogo obshchestva] Proc. of the International Conference,* February 6-7, 2003, *Moscow [Materialy Mezhdunarodnogo soveshchaniya].* Moscow, 2003:267.
4. Podolsky SA, Kastrikin VA, Krasikova EK, Levik LYu, Chemirskaya DS. A new method of using camera traps to assess the abundance and identify the characteristic features of the mammal population in various habitats using the Zeisky Nature Reserve as an example [Novyy metod ispol'zovaniya fotolovushek dlya otsenki obiliya i vyyavleniya kharakternykh osobennostey naseleniya mlekopitayushchikh razlichnykh mestoobitaniy na primere Zeyskogo zapovednika]. *Ecosystems: Ecology and Dynamics.* 2020;4 (2):46-64.
5. Puchkovsky SV, Suntsova GL. Some methodological issues of quantitative study of brown bear tracks in connection with the problem of distinguishing individuals [*Nekotoryye metodicheskiye voprosy kolichestvennogo izucheniya sledov burogo medvedya v svyazi s problemoy razlicheniya osobey*] *Bears in the USSR [Medvedi v SSSR].* Novosibirsk: Nauka, 1991:39-48.
6. Rusanov YS. Basics of hunting [*Osnovy okhotovedeniya*]. Moscow: Izd-vo MGU, 1986:160.

UDC 502.054.2; 502.057; 502.472; 504.7

CAMERA TRAPS AS A WAY TO STUDY SMALL MAMMALS USING THE EXAMPLE OF THE ZEYA NATURE RESERVE (AMUR REGION)

© 2024. D.S. Chemirskaya*, S.A. Podolsky*, **

**Zeya State Nature Reserve*
71, Stroitelnaya Str., Zeya, Amur Region, 676246, Russia. E-mail: zzap@mail.ru
***Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences*
3, Gubkina Str., Moscow, 119333, Russia. E-mail: sergpod@mail.ru

Received Juni 01, 2024. Revised Juni 30, 2024. Accepted August 01, 2024.

The first experience of using camera traps to determine population density and behavioral patterns of small mammals on the territory of the Zeya State Nature Reserve is described. We used an original method of recording large and medium mammals with camera traps: the load of a certain species on the area of the camera coverage per unit of time (e.g. month, decade, total exposure time). This value is expressed in the number of individuals per unit area (Podolsky et al., 2020).

A Browning Recon Force Advantage camera trap was used, the high response speed of which (0.4 sec) made it possible to apply this technique to small mammals as well. The main object of our study was a colony of northern pika (*Ochotona hyperborean* Pallas, 1811) located on a stone run within the forest belt. We analyzed all registrations of all species that were spotted near the colony during two summer-autumn seasons of 2022 and 2023. For large and medium mammals, the obtained population density indicators were compared with those obtained via standard methods. Based on this comparison, we assessed the possibility of using this method to simultaneously count various species of both small and large animals. Additionally, we described the influence of the camera traps on the results of counting the number of pikas and the effectiveness of studying their behavior.

Funding. This work was carried out for the Zeya State Nature Reserve, theme No. 1-22-37-1 “Dynamics of Phenomena and Processes in the Ecosystems of the Zeya State Nature Reserve and Tokinsko-Stanovoy National Park”, as well as for the state task of Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, theme No. FMWZ-2022-0001 “Studies of the Processes of Land Hydrological Cycle and Water Resources Formation, Geophysical Processes in Water Bodies and Their Basins, Formation of Extreme Hydrological Phenomena and Dynamics of Hydrological Systems under the Changing Climate and Anthropogenic Factors”.

Keywords: camera traps, census methods, small mammals, population density, behavioral patterns.

DOI: 10.24412/2542-2006-2024-3-36-51

EDN: DBCAVG

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2024, том 8, № 3, с. 52-66

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

УДК 631.4

КАРБОНАТНЫЕ ПОЧВЫ: ИХ СВОЙСТВА И ПОЛОЖЕНИЕ В РАЗНЫХ КЛАССИФИКАЦИЯХ

© 2024 г. И.Н. Горохова, Е.И. Панкова

Почвенный институт им. В.В. Докучаева
Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2. E-mail: g-irina14@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.08.2024. После доработки 30.08.2024. Принята к публикации 01.09.2024.

В статье описаны основные механизмы появления карбонатов в почвах, процессы образования карбонатных почв, в т.ч. обусловленные антропогенными воздействиями, их положительные и отрицательные свойства. Отмечено, что причины появление карбонатов в почвах зависят от их наличия в почвообразующих породах, зонального и регионального характера почвообразовательных процессов, антропогенного воздействия на почвы, возделываемой культуры, поэтому при изучении карбонатных почв должны учитываться особенности каждой территории.

Рассмотрено положение карбонатных почв в разных почвенных классификациях России, их особенности и общие черты. В основе «Классификации и диагностики почв СССР» 1977 года лежит понятие «почвенного типа», т.е. группы почв, характеризующихся сходными условиями и режимами почвообразования, одним ведущим почвообразовательным процессом и сходным строением профиля. В «Классификации и диагностике почв России» (2004) и «Полевом определителе почв России» (2008) идентификацию типа почв выполняют по системе диагностических горизонтов, образующих почвенный профиль. Диагностические почвенные горизонты определяются по комплексу морфологических и аналитических показателей, который отражает генезис горизонта. Использование естественных и антропогенно-преобразованных диагностических горизонтов позволяет учесть в единой классификации естественные и антропогенно-преобразованные почвы. Международная классификационная система почв «World Reference Base for Soil Resources» (IUSS Working Group WRB, 2022) имеет двухуровневую систему в отличие от российских систем, использующих многоуровневую иерархическую.

В каждой из классификаций разделяются карбонатные почвы, сформированные на карбонатных породах и образованные в процессе почвообразования. Разделение карбонатных почв по количеству карбонатов и глубине расположения карбонатного горизонта во всех классификациях различны. Для полного описания карбонатных почв рекомендуется использовать характеристику почв из всех трех рассмотренных классификаций.

Ключевые слова: семиаридные почвы, аридные почвы, диагностический почвенный горизонт, факторно-генетическая классификация, субстантивная классификация.

DOI: 10.24412/2542-2006-2024-3-52-66

EDN: DWNLNA

Основная сельскохозяйственная деятельность в России сосредоточена в степной и сухостепной зонах. Для систематизации почв сухостепной зоны было выполнено много исследований, характеризующих главные закономерности формирования и состояния почв. Одним из важнейших свойств почв, привлекающих в последнее время большое внимание ученых, является наличие в почвах карбонатов.

Почвенные карбонаты, их местонахождение и морфология, включая размер, форму и распределение по профилю, являются яркими индикаторами почвенных режимов и процессов. Изучение почвенных карбонатов необходимо для решения как теоретических

(генезис, классификация, эволюция почв), так и практических (изменение почв при орошении, мелиорации) задач в почвоведении.

Карбонаты оказывают положительное и отрицательное воздействие на почву и возделываемые культуры. Положительное действие наблюдается в пределах 5-15% $CaCO_3$. Вместе с тем наличие карбонатов в пахотном горизонте не способствует оптимизации структуры, поэтому карбонатные с поверхности почвы быстрее распыляются, больше подвержены ветровой эрозии и образуют плотную корку после дождей и поливов. Учитывая современные масштабы сельскохозяйственного и мелиоративного воздействия на почвенный покров, карбонатные почвы широко распространяются в степной и сухостепной зонах и требуют к себе пристального внимания.

В настоящее время в России широко используют три почвенные классификации: «Классификация и диагностика почв СССР» (1977), «Классификация и диагностика почв России (2004; и ее последующие усовершенствования, такие как «Полевой определитель почв России (2008) и работы Н.Б. Хитрова и М.И. Герасимовой (2021, 2022)) и международная классификация «World Reference Base for Soil Resources» или «WRB» (IUSS Working Group WRB, 2022). В каждой из них почвы, имеющие карбонаты в профиле, относятся к разным классификационным группам на основе отличающихся критериев.

Цель статьи – рассмотреть происхождение и основные свойства карбонатных почв, их положение, сходства и различия в современных классификациях почв, наиболее используемых в России.

Карбонатные почвы и их свойства

Большое количество работ в почвоведении посвящено изучению карбонатов в почвах аридных и семиаридных регионов мира, где они имеют наиболее широкое распространение.

Некоторые ученые, например, H.E. Doner и W.C. Lynn (1989), выделили следующие источники и механизмы поступления карбонатов в почвы:

1) наследование от материнской породы;

2) осаждение из растворов, образованных в результате выветривания содержащих кальций минералов;

3) осаждение карбонатов, вызванное увеличением концентрации Ca^{2+} при дегазации за счет эмиссии CO_2;

4) отложение карбонатной пыли на поверхность почвы с последующим перемещением карбонатов вглубь профиля в составе растворов;

5) в результате поступления $CaCO_3$ с атмосферными осадками и взаимодействия с HCO_3^-, находящейся в составе почвенных растворов;

6) принос с грунтовыми водами.

В российской научной литературе отмечается, что наиболее широко распространено явление, когда аккумуляция $CaCO_3$ обусловлена их привносом с грунтовыми водами (Ковда, 1973; Зайдельман и др., 2000; Розанов, 1992). По мнению И.В. Ковды (2004), обилие и разнообразие карбонатных новообразований зависит от характера почвообразующих пород: карбонатов больше в почвах, сформированных на лёссовидных отложениях, чем на глинистых, за исключением почв гильгайного комплекса. Кроме того, карбонатные новообразования (нодули) могут отличаться разновременностью формирования в почвах единого почвенного комплекса.

В зарубежной литературе одни ученые объясняют присутствие карбонатов их переотложением как материала, сформированного вне данного почвенного профиля (Kadry, 1972). Другие считают, что источниками карбоната и гипса в аридных почвах являются атмосферные поступления в виде пыли или карбонатов, растворенных в дождевой

воде (Dohrenwend et al., 1991; Gustavson et al., 1991). Есть работы, где отмечается, что в формировании горизонтов «calcic» и «gypsic» участвуют биологические процессы, когда за счет минерализации растительного материала в почву вносится значительное количество карбонатов и гипса (Dregne, 1976). R.J. Amit и B.J. Harrison (1995) и вовсе показали, что формирование горизонтов почв Израиля часто связано с волокнистой структурой некоторых грибов, привносящих кальций в почву при отмирании.

Разбирая отрицательные и положительные свойства карбонатных почв в литературных источниках, отметим следующие их свойства. L.T. Kadry (1972) выделяет, что основными проблемами землепользования в Ближневосточном регионе являются образование поверхностной корки, цементация горизонтов, низкая доступность фосфора, нарушение калиевого и магниевого питания растений, низкая доступность микроэлементов. J.C. Dixon (2009) дает характеристику аридных почв и отмечает, что увеличению концентрации карбонатов и гипса сопутствует уплотнение почв и формирование горизонтов «petrocalcic» и «petrogypsic».

I.S. de Soto с соавторами (2017) исследовали распределение карбонатов по гранулометрическим фракциям в пахотном слое 0-20 см орошаемых сельскохозяйственных угодий Наварры в Испании. В результате эксперимента авторы выяснили, что в песчаной фракции почв количество карбонатов систематически уменьшается и стабилизировать их количество удается только за счет внесения удобрений.

Впервые подробно процесс ирригационного окарбоначивания почв в сухостепной зоне Европейской России в Волгоградской области описан В.А. Барановской и В.И. Азовцевым (1972, 1981). По результатам их исследований практически за 40-летний период орошения произошло накопление массы карбонатов более чем в 3 раза в верхнем слое 0.5 м. Причем происходило это независимо от глубины залегания грунтовых вод, а легкорастворимые соли находились на значительной глубине. При этом авторы не исключают частичный привнос $CaCO_3$ с поливными водами из р. Волги, пресные воды которой имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав. Ряд других исследователей также считает возможным поступление карбонатов в почвы с поливной водой на орошаемых землях Калифорнии (Wu et al., 2008).

Процесс подтягивания карбонатов в пахотных почвах сухостепной зоны России отмечался и другими исследователями (Любимова, 2018; Любимова, Дегтярева, 2000; Любимова, Новикова, 2016). Считается, что значительное поступление карбонатного материала происходит после трехъярусной и плантажной вспашек, а также за счет перераспределения карбонатов внутри профиля из-за изменения режима влажности мелиорированных почв. Об активизации процессов передвижения растворенных карбонатов в агрогенноизмененных почвах солонцовых комплексов свидетельствуют карбонатные выделения внутри и вокруг пор образцов ненарушенного сложения.

Высокое содержание карбонатов в корнеобитаемом слое каштановых почв, карбонатных черноземах и особенно в почвах, сформированных на продуктах выветривания известняков и мергелей, вызывает нарушение минерального питания виноградников, что выражается в заболевании их хлорозом (Петров, 2000). И, напротив, A. Larbi с соавторами (2017) отмечают положительное влияние карбонатов в почвах на произрастание оливковых растений в прибрежных средиземноморских засоленных землях.

В руководствах по описанию почв ФАО (Calcareous Soils, 1972; Soil Survey …, 1979; IUSS Working Group WRB, 2015) выделяется группа слабокарбонатных почв, содержащих от следовых количеств до 2% карбонатов, карбонатных (2-15%), среднекарбонатных (15-25%) и сильнокарбонатных (> 25%). Отмечается, что карбонатные почвы создают проблемы для сельскохозяйственного использования. Кальцисоли (англ. «Calcisols»; почвы с содержанием карбонатов > 15%) отличаются низким содержанием органического вещества и

доступного азота. Высокие значения pH создают условия, ограничивающие подвижность и доступность для растений соединений фосфора из-за образования нерастворимого фосфата кальция.

При содержании $CaCO_3$ до 10-15% считается, что карбонаты положительно влияют на свойства почв: способствуют образованию стабильных крупнопористых агрегатов, улучшают водно-физические свойства. При увеличении содержания до 25% карбонаты могут осаждаться в порах, снижая водопроницаемость почв. При содержании более 25% плотность увеличивается до 1.6 г/см^3 и более.

Чем мельче кристаллы карбонатов, тем активнее они влияют на свойства почвы. Наиболее активная фракция размером ≤ 0.02 мм. Так, при небольшом (до 2%) количестве карбонатов при высыхании орошаемых карбонатных почв образуется плотная корка. Карбонатные горизонты, даже оставаясь проницаемыми для воды, могут препятствовать росту корней.

Таким образом, причины появления и механизмы распределения карбонатов в почвах зависят от их наличия в почвообразующих породах, зонального и регионального характера почвообразовательных процессов, антропогенного воздействия на почвы, поэтому при изучении карбонатных почв должны учитываться особенности каждой территории.

Положение карбонатных почв в разных классификациях почв

«Классификация и диагностика почв СССР» (1977) относится к факторно-генетическим. Систематическое положение почвы проводится от самых общих таксономических уровней к более детальным. В основе классификации лежит понятие «почвенного типа» – группы почв, характеризующихся сходными условиями и режимами почвообразования, одним ведущим почвообразовательным процессом и сходным строением профиля (например, каштановые). В пределах типа выделяются подтипы как переходные ступени между разными типами почв (темно-каштановые, каштановые, светло-каштановые), в пределах подтипов выделяются роды почв, характеризующиеся локальными особенностями почвообразования, в частности, по наличию карбонатов (карбонатные, карбонатные перерытые, глубоковскипающие), в пределах родов выделяются виды почв по степени развития основных почвообразовательных процессов (светло-каштановые степные карбонатные глубоковскипающие слабомощные на суглинистых отложениях).

Согласно этой классификации, наличие карбонатов в поверхностных горизонтах почв характерно для таких типов, как черноземы, каштановые и бурые почвы. Различные подтипы данных почв подразделяются по наличию карбонатов на следующие роды:

- «Глубоковскипающие – почвы с более глубоким, чем в обычных родах вскипанием, за счет облегченного механического состава или подстилания легкими породами либо вследствие локальных улучшений условий увлажнения (промываемости) почвы» (Классификация …, 1977, с. 95);
- «Карбонатные (пропитанно) – характеризуются устойчивым поверхностным вскипанием, то есть наличием карбонатов во всем почвенном профиле, начиная с поверхности. Карбонатные выделения могут быть ясно различимы в гумусовом горизонте (жилки, сединка, мицелий), либо фиксированы в его нижней части или под ним. Генезис поверхностной карбонатности может быть связан с особо тяжелым (иловатым) механическим составом, с провинциальными или локальными условиями ксерометаморфизма, реликтовыми явлениями, а также с агротехническими факторами (главным образом, связанных с вовлечением карбонатного материала в пахотный слой при глубокой вспашке)» (Классификация …, 1977, с. 95-96);

- «Остаточно-карбонатные – формируются на карбонатных породах (мел, известняк, мергель). В почвенном профиле присутствует обломочный материал этих пород, большие количества которого (кроме вторичных карбонатов) сосредоточены под гумусовыми горизонтами А+АВ (15-30% $CaCO_3$ и более). Подстилаются грубым щебнистым элювием или элюво-делювием коренных пород. Общее вскипание отмечается с поверхности почвы или с подпахотного слоя (нижней половины горизонта А)» (Классификация …, 1977, с. 96);
- «Карбонатные перерытые – отличаются высоким (часто поверхностным) вскипанием в связи с активной деятельностью роющих животных (перенос карбонатов из карбонатного горизонта в гумусовый). Характерно смешение материала из разных генетических горизонтов, наличие в гумусовом горизонте светло-бурых участков, каналов, полостей, заполненных материалом материнской породы, и обратно-темных гумусированных участков (кротовин) в нижней части почвенного профиля. Сложение профиля рыхлое, кавернозное, неоднородное» (Классификация …, 1977, с. 96);

Внутриродовые разделения по наличию сильно окарбоначенных (более 30% $CaCO_3$) горизонтов в почвах и грунтах. Разделение почв и грунтов по глубине (в см) верхней границы сильно окарбоначенного горизонта:

- поверхностноокарбоначенные < 30,
- высокоокарбоначенные = 30-60,
- неглубокоокарбоначенные = 60-100,
- глубокоокарбоначенные = 100-200,
- глубинноокарбоначенные > 200.

Разделение почв и грунтов по мощности (в см) сильно окарбоначенного горизонта (слоя):

- маломощные < 40,
- среднемощные = 40-100,
- мощные >100.

Разделение форм карбонатных почв и грунтов по сложению: рыхлые, фрагментарно-плотные, монолитно-плотные (Классификация …, 1977).

Наличие карбонатов в почвенном профиле обозначается добавлением индекса (к) к названию горизонта, например, Вк.

«Классификация и диагностика почв России» (2004) под почвенными горизонтами понимает субгоризонтальные слои, различающиеся по морфологическим и аналитическим показателям. Свойства горизонтов определяются генезисом, поэтому почвенные горизонты называются генетическими горизонтами. Генетические горизонты включают в себя как естественные, так и антропогенно-преобразованные. Последние являются результатом сочетания природных процессов и деятельности человека, что позволяет учесть в единой классификации естественные и антропогенно-преобразованные почвы. Система взаимосвязанных генетических горизонтов образует почвенный профиль, на основании которого производится диагностика и классификация почв (Систематика …, 2016).

Часть номенклатуры, используемой в этой классификации, сохранена и является традиционной (например, чернозёмы). Другая часть терминов представляет собой термины, отражающие антропогенную деятельность (например, агрочернозёмы). Здесь отсутствуют ландшафтные термины (например, черноземы выщелоченные, степные). Это обусловлено субстантивным подходом к диагностике почв в отличие от факторно-генетического и экологического, применявшегося в «Классификации …» (1977).

Существенным нововведением в «Классификации …» (2004) явилось выделение надтиповых таксонов, стволов и отделов. В отделы объединяются почвы по сходству основных процессов почвообразования, формирующих главные черты профиля (агроземы). Тип – это основная таксономическая единица в пределах отделов, характеризующаяся

единой системой основных горизонтов и общностью свойств, обусловленных сходством режимов и процессов почвообразования (агроземы темные). Подтип – таксономическая единица в пределах типа, отличающаяся качественными модификациями основных генетических горизонтов, которые отражают наиболее существенные особенности почвообразовательных процессов и эволюции почв (агроземы темные дисперсно-карбонатные). Род – таксономическая единица, определяемая степенью насыщенности почвенного поглощающего комплекса, присутствием карбонатов, гипса, химизмом засоления. Вид – таксономическая единица, отражающая количественные показатели степени выраженности признаков, определяющих тип, подтип, а иногда и род почв (Систематика …, 2016).

По «Классификации и диагностике почв России» (2004) и «Полевому определителю почв России» (2008), естественные карбонатные почвы относятся к аккумулятивно-карбонатным малогумусовым почвам (отдел), которые распространены в степи, сухой степи и полупустыне. Для них характерна сильная окарбоначенность профиля, с проявлением своеобразного метаморфизма. К ним относятся аккумулятивно-карбонатные, текстурно-карбонатные и турбированные темногумусовые, светлогумусовые почвы и солонцы (тип).

Выделяются виды почв по глубине залегания карбонатов (определяемые по глубине вскипания от 10% HCl, в см):

- карбонатные < 30,
- высоко карбонатные (слабо выщелоченные) = 30-50,
- средне карбонатные (средне выщелоченные) = 50-80,
- глубоко карбонатные (сильно выщелоченные) = 80-120.

Однако в условиях современного сельскохозяйственного производства часто имеются почвы, лишенные верхних диагностических горизонтов в результате антропогенной деятельности, водной эрозии, дефляции, а также механического срезания горизонта. Непосредственно в карбонатных почвах на дневную поверхность выступает в той или иной степени сохранившийся аккумулятивно-карбонатный горизонт или его нижняя часть, переходная к почвообразующей породе. Такие почвы входят в отел агроземов. Этот отдел объединяет почвы, профиль которых состоит из гомогенного агрогоризонта мощностью более 25 см, обычно резко сменяющегося любым естественным срединным генетическим горизонтом или непосредственно почвообразующей породой. Агрогоризонт является производным одного или нескольких верхних горизонтов естественных почв. В результате в агроземах складывается новая, отличная от естественной, система горизонтов. Типы определяются особенностями агрогоризонта и его комбинациями с подпахотной частью профиля, представленной почвообразующей породой или различными срединными горизонтами. В типах агроземов выделяется большое количество подтипов, поскольку агроземы формируются из широкого спектра типов почв и наследуют разнообразные признаки их срединных горизонтов. Кроме того, в них проявляются признаки, связанные с антропогенными воздействиями. Выделяются следующие типы карбонатных почв: агроземы темные аккумулятивно-карбонатные, агроземы текстурно-карбонатные, турбоземы аккумулятивно-карбонатные, турбоземы аккумулятивно-карбонатные темные и все их подтипы.

Основные подтипы выделяются по унаследованным от естественных почв особенностям аккумуляции карбонатов:

1) сегрегационные (nc) – диагностируются по наличию в аккумулятивно-карбонатном горизонте сегрегационных скоплений карбонатов или «белоглазки»; формируются из сегрегационных и миграционно-сегрегационных подтипов;

2) мицелярные (mc) – диагностируются по наличию в аккумулятивно-карбонатном

горизонте белых и желтоватых прожилок или «псевдомицелия»; формируются в основном из абродированных миграционно-мицелярных подтипов черноземов;

3) дисперсно-карбонатные (dc) – диагностируются по наличию в минеральной массе аккумулятивно-карбонатного горизонта диффузно-рассеянных карбонатов, образующих светлые расплывчатые пятна; формируются из абрадированных форм дисперсно-карбонатных подтипов черноземов (Классификация …, 2004).

«World Reference Base for Soil Resources» (2022) – это международная классификационная система, созданная как международный язык почвоведов. Её основное предназначение – корреляция национальных почвенных классификаций, создание общепонятного языка, не подменяющего в то же время национальные системы.

В отличие от российских систем классификации почв, использующих многоуровневую иерархическую систему, «WRB» имеет двухуровневую, неиерархическую систему. На первом уровне выделяются 32 реферативные группы. Для определения принадлежности почвы к реферативной группе используются диагностические горизонты и другие диагностические признаки. Для более детальной характеристики почвы на втором таксономическом уровне предусмотрены главные (англ. «principal») и дополнительные (англ. «supplementary») квалификаторы.

Квалификаторы характеризуют особенности почв внутри реферативных почвенных групп, а также переходные формы от одной реферативной группы к другой. Они детализируют (уточняют) свойства диагностических горизонтов, диагностических признаков и диагностических материалов по разным химическим, физическим, минералогическим свойствам, гранулометрическому составу.

По данным «WRB» (Руководство …, 2012), карбонаты в почвах могут быть унаследованы от почвообразующей породы (первичные карбонаты) или являться результатом почвообразования (вторичные карбонаты). В последнем случае карбонаты концентрируются в форме мучнистых выделений, кутан на поверхности педов, конкреций, поверхностных или внутрипочвенных карбонатных прослоев или кор. Присутствие карбонатов кальция ($CaCO_3$) устанавливается путем добавления нескольких капель 10% раствора HCl к почве, и по интенсивности выделения пузырьков диоксида углерода оценивается их количество в почве (табл. 1). В большинстве случаев при полевой диагностике трудно определить, являются ли карбонаты первичными или вторичными.

Таблица 1. Полевое определение содержания карбонатов в почве (Руководство …, 2012).
Table 1. Determination of carbonate content in soil during field work (Soil description guide, 2012).

№	Обозначение	% карбонатов	Степень карбонатности	Видимые и слуховые признаки вскипания
1	N	0	отсутствует	отсутствуют
2	SL	0-2	слабо	вскипание слышно, но не видно
3	MO	2-10	средне	вскипание видно
4	ST	10-25	сильно	сильный видимый эффект от взаимодействия с HCl, пузырьки образуют тонкую пенистую пленку
5	EX	> 25	очень сильно	бурная реакция от HCl, мгновенно образуется толстая пенистая пленка

Интенсивность взаимодействия карбонатов с HCl зависит от гранулометрического состава почвы: обычно реакция проходит более интенсивно в песчаном субстрате, чем в тяжелосуглинистых почвах с тем же содержанием карбонатов. Другие компоненты, присутствующие в почве, например, корни, также могут взаимодействовать с кислотой, издавая шум при реакции. А, например, доломиты взаимодействуют с кислотой слабее, чем кальцит. Так как вторичные карбонаты чаще всего взаимодействуют с HCl намного интенсивнее, испытание следует проводить отдельно для первичных и вторичных карбонатов.

Формы вторичных карбонатов в почвах разнообразны и являются важным информативным признаком при диагностике почв и определении их генезиса. Считается, что рыхлые карбонатные новообразования имеют иллювиальное происхождение, а плотные конкреции – гидрогенное. Формы вторичных карбонатов описываются согласно таблице 2.

Таблица 2. Классификация форм вторичных карбонатов (Руководство …, 2012).
Table 2. Classification of the secondary carbonates forms (Soil description guide, 2012).

№	Индекс	Определение
1	SC	Мягкие конкреции (белоглазка)
2	HC	Плотные конкреции (журавчики)
3	HHC	Плотные полые конкреции (дутики и погремки)
4	D	Мучнистые выделения
5	PM	Псевдомицелий[1] (карбонатное заполнение пор, напоминающее мицелий)
6	M	Прослой мергеля
7	HL	Плотный сцементированный карбонатный горизонт(ы) мощностью до 10 см

Важными для целей классификации являются следующие значения содержания карбонатов:

- содержание карбонатов (в пересчете на карбонат кальция) ≥ 2% материал калькарик;
- ≥ 15% карбонатов кальция в мелкоземе, по крайней мере, частично вторичного происхождения – горизонт кальцик (англ. «calcic»);
- твердый горизонт с карбонатами кальция, по крайней мере, частично вторичного происхождения – горизонт петрокальцик (англ. «petrocalcic»);
- 15-25% карбоната кальция в мелкоземе, по крайней мере, частично вторичного происхождения – квалификатор гипокальцик (англ. «hypocalcic»);
- ≥ 50% карбоната кальция в мелкоземе, по крайней мере, частично вторичного происхождения – классификатор гиперкальцик (англ. «hypercalcic»).
- в случае если в почве есть горизонт кальцик с верхней границей в пределах 50-100 см от поверхности почвы, почву можно относить к кальцисолям, только если почвенная масса во всем слое между глубиной залегания верхней границы горизонта кальцик и глубиной 50 см карбонатна.

Кальцисоли и гипсосоли могут иметь горизонт аржик[2], только если этот горизонт пропитан карбонатами кальция (в кальцисолях) или карбонатами кальция и гипсом (в гипсосолях; Руководство …, 2012).

[1] Псевдомицелий карбонатный не относится ко вторичным карбонатам, если он мигрирует сезонно и не залегает на постоянной глубине.

[2] Аржик (лат. «argilla» – глина) – срединный горизонт, отличающийся от вышележащего более высоким содержанием ила. Причинами текстурной дифференциации могут быть иллювиальные накопления.

Таким образом, карбонатными почвами в «Классификации …» (1977) считаются почвы, вскипающие во всей почвенной толще; а в «Классификации …» 2004 и «WRB» (IUSS Working Group WRB, 2022) карбонатными являются почвы, вскипающие даже в одном из горизонтов почвы. В каждой из классификаций разделяются карбонатные почвы, сформированные на карбонатных породах и образованные в процессе почвообразования. Разделение карбонатных почв по количеству карбонатов и глубине расположения карбонатного горизонта во всех классификациях различно.

Рассмотрим морфологическое строение и определение по разным классификациям залежной почвы (Приволжская возвышенность, опытная станция «Орошаемая») и луговой почвы, антропогенно-преобразованной, орошаемой (Хвалынская глинистая равнина, орошаемый массив Светлоярский), расположенных в сухой степи Волгоградской области (рис.).

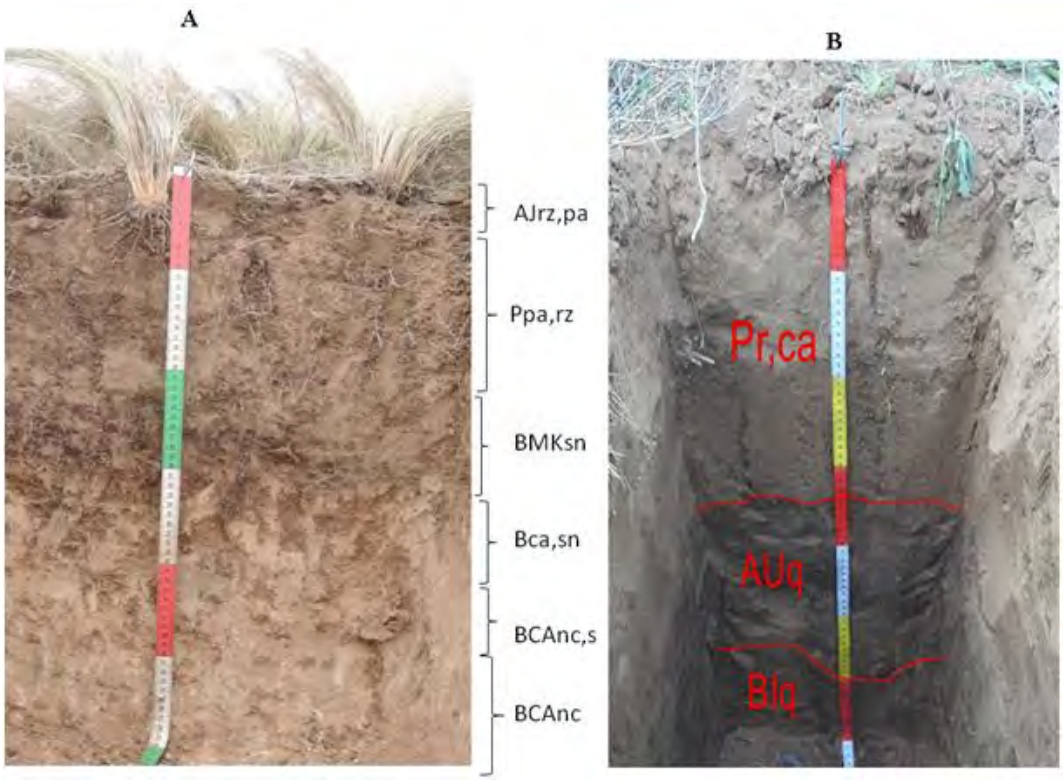


Рис. А – морфологический профиль залежной светло-каштановой почвы в сухой степи (Волгоградская область, Приволжская возвышенность, опытная станция «Орошаемая», 2022 г.), В – морфологический профиль современной орошаемой почвы (Волгоградская область, Хвалынская глинистая равнина, орошаемый массив Светлоярский, 2016 г.).
Fig. A – morphological profile of fallow light chestnut soil in dry steppe (Volgograd Oblast, Volga Upland, “Oroshayemaya” experimental station, 2022), B – morphological profile of modern irrigated soil (Volgograd Oblast, Khvalynsk clay plain, Svetloyarsky irrigated massif, 2016).

В залежной почве (рис. А) карбонаты появляются на глубине 30 см, в переходном карбонатном солонцеватом горизонте (Bca, sn). Это 50-летняя залежь, уже приблизившаяся по своим свойствам к целинной почве, где карбонаты находятся достаточно глубоко. По «Классификации …» (1977) она определяется как светло-каштановая солонцеватая постагрогенная среднесуглинистая на лёссовидных суглинках. По «Классификации …» (2004) и «Полевому определителю …» (2008) она – агрокаштановая (AJrz, pa; Ppa, rz)

солонцеватая (BMKsn) постагрогенная солончаковатая слабозасоленная (BCAnc, s) гипссодержащая дернинная среднесуглинистая на палево-бурых пылеватых суглинках. Согласно «WRB» (IUSS Working Group WRB, 2022), это Haplic Kastanozem (Loamic, Protosodic, Bathygypsic).

На рисунке В представлена орошаемая почва. Под влиянием мелиорации в процессе планировки поля здесь изменился почвенный профиль за счет насыпки сверху карбонатного материала. По «Классификации …» (1977) эта почва определяется как бывшая лугово-каштановая, орошаемая, с насыпным пахотным карбонатным горизонтом, среднесуглинистая на среднехвалынских отложениях. По «Классификации …» (2004) и «Полевому определителю …» (2008) эта почва – агрозем стратифицированный поверхностно-карбонатный (Pr, ca) на погребенном темногумусовом квазиглееватом (AUq), глинисто-иллювиальном квазиглееватом черноземе (BIq), среднесуглинистая на среднехвалынских отложениях. Из последнего определения следует, что данная почва является сельскохозяйственной, возделываемой, имеет мощный агрогоризонт, отличающийся от нижележащих слоев. Кроме того, агрогоризонт является стратифицированным, т.е. насыпным сверху на органогенный гумусовый горизонт лугово-каштановой почвы и поверхностно-карбонатным, поскольку насыпной материал содержит карбонаты. Ниже пахотного слоя горизонты являются переувлажненными, квазиглееватыми. Согласно «WRB» (IUSS Working Group WRB, 2022), это Luvic Phaeozem (Loamic, Aric, Novic).

Выводы

На базе литературных источников представлены механизмы появления карбонатов в почвах, в том числе обусловленные антропогенными воздействиями, их положительные и отрицательные свойства. Отмечено, что причины появления и механизмы распределения карбонатов в почвах зависят от их наличия в почвообразующих породах, зонального и регионального характера почвообразовательных процессов, антропогенного воздействия на почвы, возделываемой культуры, поэтому при изучении карбонатных почв должны учитываться особенности каждой территории.

Рассмотрено положение карбонатных почв в разных почвенных классификациях, используемых в России, их особенности и общие черты. «Классификация и диагностика почв СССР» (1977) относится к факторно-генетической, положение почвы определяется от общих таксономических уровней к более детальным. В основе классификации лежит понятие почвенного типа, то есть группы почв, характеризующихся сходными условиями и режимами почвообразования, одним ведущим почвообразовательным процессом и сходным строением профиля. «Классификация …» (1977) является открытой таксономией, в нее можно добавлять новые почвы при получении материала.

«Классификация и диагностика почв России» (2004) и «Полевой определитель …» (2008) также имеют открытую таксономию. Но в ней под почвенными горизонтами понимаются субгоризонтальные слои, различающиеся по морфологическим и аналитическим показателям. Свойства горизонтов определяются генезисом, почвенные горизонты называются генетическими горизонтами, которые включают в себя как естественные, так и антропогенно-преобразованные, что позволяет учесть в единой классификации естественные и антропогенно-преобразованные почвы. Система взаимосвязанных генетических горизонтов образует почвенный профиль, на основании которого производится диагностика и классификация почв.

«World Reference Base for Soil Resources» (IUSS Working Group WRB, 2022) – международная система, основное предназначение которой – корреляция национальных почвенных классификаций. Она не подменяет национальных систем, а служит для их

сопоставления и облегчения в идентификации и наименовании основных почвенных разностей. В отличие от российских систем классификации почв, использующих многоуровневую иерархическую систему, международная система имеет двухуровневую, неиерархическую систему.

При сравнении классификационных систем можно отметить, что карбонатными почвами в «Классификации …» (1977) считаются почвы, вскипающие во всей почвенной толще; в «Классификации …» (2004) и классификации «WRB» (IUSS Working Group WRB, 2022) карбонатными являются почвы, вскипающие даже в одном из горизонтов почвы. В каждой из классификаций разделяются карбонатные почвы, сформированные на карбонатных породах и образовавшиеся в процессе почвообразования. Разделение карбонатных почв по количеству карбонатов и глубине расположения карбонатного горизонта во всех классификациях различны.

Для самого полного описания современных карбонатных почв лучше всего использовать характеристику почв в трех рассмотренных классификациях.

Финансирование. Работа выполнена по темам госзаданий № 0591-2019-0023 «Изучить трансформацию, эволюцию и деградацию почвенного покрова агроландшафтов на разных уровнях организации, включая внутриполевую неоднородность, с использованием сочетания наземных обследований и цифровых технологий» и № FGUR-2022-0009 (122022800220-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барановская В.А., Азовцев В.И.* 1981. Влияние орошения на миграцию карбонатов в почвах Поволжья // Почвоведение. № 10. С. 17-27.
2. *Барановская В.А., Азовцев В.И.* 1972. $CaCO_3$ и его миграция в орошаемых почвах Заволжья // Совершенствование методов оценки засоленных почв, прогнозирование и предупреждение вторичного засоления: тезисы всесоюзного совещания, г. Харьков, 23-26 октября 1972 г. М.: Минсельхоз. С. 75-76.
3. *Зайдельман Ф.Р., Селищев А.А., Никифорова А.С.* 2000. Карбонатные конкреции почв гумидных ландшафтов и их диагностическое значение // Почвоведение. № 4. С. 405-415.
4. Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 342 с.
5. Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М.: Колос. 223 с.
6. *Ковда В.А.* 1973. Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса. В 2-х книгах. М.: Наука. Кн. 1. 447 с.; Кн. 2. 468 с.
7. *Ковда И.В.* 2004. Карбонатные новообразования в почвах: старые и

REFERENCES

1. Baranovskaya VA, Azovtsev VI. Effect of irrigation on carbonate migration in soils of the Volga region [Vliyaniye orosheniya na migratsiyu karbonatov v pochvakh Povolzh'ya]. *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye].* 1981;10:17-27.
2. Baranovskaya VA, Azovtsev VI. $CaCO_3$ and its migration in irrigated soils of the Trans-Volga region [*$CaCO_3$ i yego migratsiya v oroshayemykh pochvakh Zavolzh'ya*] *Improving methods for assessing saline soils, forecasting and preventing secondary salinization: Proc. of the All-Union Conference,* Kharkov, October 23-26, 1972 *[Sovershenstvovaniye metodov otsenki zasolennykh pochv, prognozirovaniye i preduprezhdeniye vtorichnogo zasoleniya: tezisy vsesoyuznogo soveshchaniya].* Moscow: Minsel'khoz, 1972:75-76.
3. Zaidelman FR, Selishchev AA, Nikiforova AS. Carbonate concretions of humid landscape soils and their diagnostic value [Karbonatnyye konkretsii pochv gumidnykh landshaftov i ikh diagnosticheskoye znacheniye]. *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye].* 2000;4:405-415.

новые проблемы изучения // Почвы, биохимические циклы и биосфера. Развитие идей Виктора Абрамовича Ковды. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 115-136.

8. *Любимова И.Н.* 2018. Постмелиоративная трансформация карбонатного и гипсового профилей солонцовых почв сухостепной зоны // Почвоведение. № 11. С. 1199-1208. [*Lyubimova I.N.* 2018. Postmeliorative Transformation of Carbonate and Gypsum Profiles of Solonetzic Soils in the Dry Steppe Zone // Eurasian Soil Science. Vol. 51. No. 11. P. 1288-1296.]
9. *Любимова И.Н., Дегтярева Е.Т.* 2000. Изменение карбонатного профиля почв солонцовых комплексов при агрогенном воздействии // Почвоведение. № 7. С. 855-860. [*Lyubimova I.N., Degtyareva E.T.* 2000. Changes in the Carbonate Distribution in the Soils of Solonetzic Complexes at Agrogenic Impact // Eurasian Soil Science. Vol. 33. No. 7. P. 746-751.]
10. *Любимова И.Н., Новикова А.Ф.* 2016. Влияние различных антропогенных воздействий на изменение почв солонцовых комплексов сухостепной зоны // Почвоведение. № 5. С. 633-643. [*Lyubimova I.N., Novikova A.F.* 2016. Changes in the Properties of Solonetzic Soil Complexes in the Dry Steppe Zone under Anthropogenic Impacts // Eurasian Soil Science. Vol. 49. No. 5. P. 581-590.]
11. *Петров Н.Н.* 2000. Система закладки и возделывания виноградников на карбонатных почвах России. Автореф. дисс. … с.-х.н. Новочеркасск. 60 с.
12. Полевой определитель почв России. 2008. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 182 с.
13. *Розанов А.Б.* 1992. Карбонатизация // Элементарные почвообразовательные процессы: опыт концептуального анализа, характеристика, систематика. М.: Наука. С. 23-25.
14. Руководство по описанию почв. 2012. Рим: ФАО. 100 с.
15. Систематика и классификация почв. 2016 / Сост. А.О. Рагимов, М.А. Мазиров,

4. Classification and diagnostics of soils of Russia [*Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii*]. Smolensk: Oykumena, 2004:342.
5. Classification and diagnostics of soils of the USSR [*Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR*]. Moscow: Kolos, 1977:223.
6. Kovda VA. Fundamentals of the doctrine of soils. General theory of the soil-forming process [*Osnovy ucheniya o pochvakh. Obshchaya teoriya pochvoobrazovatel'nogo protsessa. V 2-kh knigakh*]. In 2 books. Moscow: Nauka, 1973;1:447;2:468.
7. Kovda IV. Carbonate neoplasms in soils: old and new problems of study [*Karbonatnyye novoobrazovaniya v pochvakh: staryye i novyye problemy izucheniya*] *Soils, biochemical cycles and biosphere [Pochvy, biokhimicheskiye tsikly i biosfera] Development of ideas of Viktor Abramovich Kovda [Razvitiye idey Viktora Abramovicha Kovdy]*. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2004:115-136.
8. Lyubimova IN. Postmeliorative Transformation of Carbonate and Gypsum Profiles of Solonetzic Soils in the Dry Steppe Zone. *Eurasian Soil Science.* 2018;51 (11):1288-1296.
9. Lyubimova IN, Degtyareva ET. Changes in the Carbonate Distribution in the Soils of Solonetzic Complexes at Agrogenic Impact. *Eurasian Soil Science.* 2000;33 (7):746-751.
10. Lyubimova IN, Novikova AF. Changes in the Properties of Solonetzic Soil Complexes in the Dry Steppe Zone under Anthropogenic Impacts. *Eurasian Soil Science.* 2016;49 (5):581-590.
11. Petrov NN. The system of planting and cultivating vineyards on calcareous soils of Russia [*Sistema zakladki i vozdelyvaniya vinogradnikov na karbonatnykh pochvakh Rossii*] PhD Thesis. Novocherkassk, 2000:60.
12. Field guide to soils of Russia [*Polevoy opredelitel' pochv Rossii*]. Moscow: Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchayeva, 2008:182.
13. Rozanov AB. Carbonatization [*Karbonatizatsiya*] *Elementary soil-forming*

Е.М. Шентерова, А.Н. Рожкова. Владимир: Изд-во ВлГУ. 132 с.
16. *Хитров Н.Б., Герасимова М.И.* 2022. Предлагаемые изменения в классификации почв России: диагностические признаки и почвообразующие породы // Почвоведение. № 3. С. 3-14. [*Khitrov N.B., Gerasimova M.I.* 2022. Proposed Changes in the Classification of Soils in Russia: Diagnostic Features and Parent Rocks // Eurasian Soil Science. Vol. 55. No. 3. P. 1-10.]
17. *Хитров Н.Б., Герасимова М.И.* 2021. Диагностические горизонты в классификации почв России: версия 2021 г. // Почвоведение. № 8. С. 899-910. [*Khitrov N.B., Gerasimova M.I.* 2021. Diagnostic Horizons in the Classification System of Russian Soils: Version 2021 // Eurasian Soil Science. Vol. 55. No. 3. P. 1-10.]
18. *Amit R.J., Harrison B.J.* 1995. Biogenic Calcite Horizon Development under Extremely Arid Conditions // Advances in GeoEcology. Vol. 28. P. 65-88.
19. Calcareous Soils. 1972. FAO Soils Bulletin No. 21. Rome: FAO. 253 p.
20. *de Soto I.S., Virto I., Barre P., Fernandez-Ugalde O., Anton R., Martinez I., Chaduteau C., Enrique A., Bescansa P.* 2017. A model for Field-Based Evidences of the Impact of Irrigation on Carbonates in the Tilled Layer of Semi-Arid Mediterranean Soils // Geoderma. Vol. 297. P. 48-60.
21. *Doner H.E., Lynn W.C.* 1989. Carbonate, Halide, Sulfate, and Sulfide Minerals // Minerals in Soil Environments. P. 279-330.
22. *Dixon J.C.* 2009. Aridic Soils, Patterned Ground, and Desert Pavements // Geomorphology of Desert Environments. Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V. P. 101-122.
23. *Dohrenwend J.C., Bull W.B., McFadden L.D., Smith G.I., Smith R.S.U., Wells D.G.* 1991. Quaternary Geology of the Basin and Range Province in California // Quaternary Non-Glacial Geology: *processes: an experience of conceptual analysis, characteristics, taxonomy [Elementarnyye pochvoobrazovatel'nyye protsessy: opyt kontseptual'nogo analiza, kharakteristika, sistematika]*. Moscow: Nauka, 1992:23-25.
14. Soil description guide [*Rukovodstvo po opisaniyu pochv*]. Rome: FAO, 2012:100.
15. Soil taxonomy and classification [*Sistematika i klassifikatsiya pochv*] / eds. A.O. Ragimov, M.A. Mazirov, E.M. Shenterova, A.N. Rozhkova. Vladimir: Izd-vo VlGU, 2016:132.
16. Khitrov NB, Gerasimova MI. Proposed Changes in the Classification of Soils in Russia: Diagnostic Features and Parent Rocks. *Eurasian Soil Science.* 2022;55 (3):1-10.
17. Khitrov NB, Gerasimova MI. Diagnostic Horizons in the Classification System of Russian Soils: Version 2021. *Eurasian Soil Science.* 2021;55 (3):1-10.
18. Amit RJ, Harrison BJ. Biogenic Calcite Horizon Development under Extremely Arid Conditions. *Advances in GeoEcology.* 1995;28:65-88.
19. Calcareous Soils. FAO Soils Bulletin No. 21. Rome: FAO, 1972:253.
20. de Soto IS, Virto I, Barre P, Fernandez-Ugalde O, Anton R, Martinez I, Chaduteau C, Enrique A, Bescansa P. A model for Field-Based Evidences of the Impact of Irrigation on Carbonates in the Tilled Layer of Semi-Arid Mediterranean Soils. *Geoderma.* 2017;297:48-60.
21. Doner HE, Lynn WC. Carbonate, Halide, Sulfate, and Sulfide Minerals. *Minerals in Soil Environments.* 1989:279-330.
22. Dixon JC. Aridic Soils, Patterned Ground, and Desert Pavements. Geomorphology of Desert Environments. Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V., 2009:101-122.
23. Dohrenwend JC, Bull WB, McFadden LD, Smith GI, Smith RSU, Wells DG. Quaternary Geology of the Basin and Range Province in California. Quaternary Non-Glacial Geology: Conterminous United States / ed. R.B. Morrison. 1991:321-52.

Conterminous United States / Ed. R.B. Morrison. P. 321-52.
24. *Gustavson T.C., Baumgardner R.W., Caran S.C., Holliday V.T., Mehnert H.H., O'Neill J.M., Reeves Jr.C.C.* 1991. Quaternary Geology of the Southern Great Plains and an Adjacent Segment of the Rolling Plains // Quaternary Non-Glacial Geology: Conterminous United States / Ed. R.B. Morrison. P. 477-501.
25. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources // International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. 4th ed. Vienna, Austria: International Union of Soil Sciences (IUSS). 234 p.
26. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015 // International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO. 192 p.
27. *Kadry L.T.* 1972. Distribution of Calcareous Soils in the Near East Region, Their Reclamation and Land Use Measures and Achievements // FAO/UNDP Regional Seminar on Reclamation and Management of Calcareous Soils [Электронный ресурс https://www.fao.org/4/x5868e/x5868e03.htm (дата обращения 01.09.2024).]
28. *Larbi A., Kchaou H., Gaaliche B., Gargouri K., Boulal H., Morales F.* 2020. Supplementary Potassium and Calcium Improves Salt Tolerance in Olive Plants // Scientia Horticulturae. Vol. 260. Article No. 108912.
29. Soil Survey Investigations for Irrigation. 1979. FAO Soils Bulletin No. 42. Rome: FAO. 188 p.
30. *Wu L.S., Wood Y., Jiang P.P., Li L., Pan G., Lu L.Q., Pan G.X., Lu J.H., Chang A.C., Enloe H.A.* 2008. Carbon Sequestration and Dynamics of Two Irrigated Agricultural Soils in California // Soil Science Society of America Journal. Vol. 72. P. 808-814.

24. Gustavson TC, Baumgardner RW, Caran SC, Holliday VT, Mehnert HH, O'Neill JM, Reeves JrCC. Quaternary Geology of the Southern Great Plains and an Adjacent Segment of the Rolling Plains. Quaternary Non-Glacial Geology: Conterminous United States / ed. R.B. Morrison. 1991:477-501.
25. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. 4th ed. Vienna, Austria: International Union of Soil Sciences (IUSS), 2022:234.
26. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO, 2015:192.
27. Kadry LT. Distribution of Calcareous Soils in the Near East Region, Their Reclamation and Land Use Measures and Achievements. FAO/UNDP Regional Seminar on Reclamation and Management of Calcareous Soils. 1972, Available at https://www.fao.org/4/x5868e/x5868e03.htm (Date of Access 01/09/2024).
28. Larbi A, Kchaou H, Gaaliche B, Gargouri K, Boulal H, Morales F. Supplementary Potassium and Calcium Improves Salt Tolerance in Olive Plants. *Scientia Horticulturae.* 2020;260:Article No. 108912.
29. Soil Survey Investigations for Irrigation. FAO Soils Bulletin No. 42. Rome: FAO, 1979:188.
30. Wu LS, Wood Y, Jiang PP, Li L, Pan G, Lu LQ, Pan GX, Lu JH, Chang AC, Enloe HA. Carbon Sequestration and Dynamics of Two Irrigated Agricultural Soils in California. *Soil Science Society of America Journal.* 2008;72:808-814.

UDC 631.4

CALCAREOUS SOILS: THEIR PROPERTIES AND DEFINITION OF DIFFERENT SOIL CLASSIFICATIONS

© 2024. I.N. Gorokhova, E.I. Pankova

V.V. Dokuchaev Soil Science Institute
7-2 Pyzhevsky Per., Moscow, 119017, Russia. E-mail: g-irina14@yandex.ru

Received August 15, 2024. Revised August 30, 2024. Accepted Septemder 01, 2024.

In this article we describe the main mechanisms of carbonate penetration into soils, processes of calcareous soils formation (including those caused by anthropogenic impact), and their positive and negative properties. We have noted that the carbonate occurrence in soils depends on their initial occurrence in the soil-forming rocks, zonal and regional nature of soil-forming processes, anthropogenic impacts, and even crops. Therefore, it is crucial to take into account the features of each territory when studying calcareous soils.

We explored various approaches to calcareous soils in different Russian classifications, as well as their peculiarities and general features. “Classification and Diagnostics of Soils of the USSR” (1977) uses the concept of “soil type”, i.e. a group of soils that have similar soil-forming conditions and regimes, similar profile structure, and a key soil-forming process. “Classification and Diagnostics of Soils of Russia” (2004) (and its expansion, “Field Identifier of Soils of Russia” (2008)) identifies soil types using the system of diagnostic horizons that form a soil profile. Those horizons are defined by a set of morphological and analytical indices, reflecting the genesis of said horizons. Natural and anthropogenically transformed diagnostic horizons allow to take into account natural and anthropogenically transformed soils in a unified soil classification. However, unlike the multi-leveled Russian ones, the international classification system “World Reference Base for Soil Resources” (IUSS Working Group WRB, 2022) has a 2-level non-hierarchical approach.

Each classification separates calcareous soils that were formed on calcareous rocks and those created in the soil-forming process. However, they all have a different opinion on how to divide calcareous soils by the amount of carbonates and the depth of calcareous horizon. Therefore, to achieve a complete description of calcareous soils it is recommended to use all three classifications together.

Funding. This work was carried out as part of the state task No. 0591-2019-0023 “To study Transformation, Evolution and Degradation of Soil Cover of Agrolandscapes at Different Organization Levels, Including Intra-field Heterogeneity and Using a Combination of Ground Surveys and Digital Technologies”, and No. FGUR-2022-0009 (122022800220-5).

Keywords: semi-arid soils, arid soils, diagnostic soil horizon, factor and genetic classification, substantive classification.

DOI: 10.24412/2542-2006-2024-3-52-66

EDN: DWNLNA

ECOSYSTEMS: ECOLOGY AND DYNAMICS, 2024, Vol. 8, No. 3, p. 67-80

STRUCTURAL ORGANIZATION OF ECOSYSTEMS AND PATTERNS OF THEIR DISTRIBUTION

UDC 631.4

CALCAREOUS SOILS: THEIR PROPERTIES AND DEFINITION OF DIFFERENT SOIL CLASSIFICATIONS

© 2024. I.N. Gorokhova, E.I. Pankova

V.V. Dokuchaev Soil Science Institute
7-2 Pyzhevsky Per., Moscow, 119017, Russia. E-mail: g-irina14@yandex.ru

Received August 15, 2024. Revised August 30, 2024. Accepted Septemder 01, 2024.

In this article, we describe the main mechanisms of carbonate penetration into soils, processes of calcareous soils formation (including those caused by anthropogenic impact), and their positive and negative properties. We have noted that the carbonate occurrence in soils depends on their initial occurrence in the soil-forming rocks, zonal and regional nature of soil-forming processes, anthropogenic impacts, and even crops. Therefore, it is crucial to take into account the features of each territory when studying calcareous soils.

We explored various approaches to calcareous soils in different Russian classifications, as well as their peculiarities and general features. “Classification and Diagnostics of Soils of the USSR” (1977) uses the concept of “soil type”, i.e. a group of soils that have similar soil-forming conditions and regimes, similar profile structure, and a key soil-forming process. “Classification and Diagnostics of Soils of Russia” (2004) (and its expansion, “Field Identifier of Soils of Russia” (2008)) identifies soil types using the system of diagnostic horizons that form a soil profile. Those horizons are defined by a set of morphological and analytical indices, reflecting the genesis of said horizons. Natural and anthropogenically transformed diagnostic horizons allow us to consider natural and anthropogenically transformed soils in a unified soil classification. However, unlike the multi-level Russian ones, the international classification system “World Reference Base for Soil Resources” (IUSS Working Group WRB, 2022) has a 2-level non-hierarchical approach.

Each classification separates calcareous soils formed on calcareous rocks and those created in the soil-forming process. However, they all have a different opinion on how to divide calcareous soils by the amount of carbonates and the depth of calcareous horizon. Therefore, to achieve a complete description of calcareous soils it is recommended to use all three classifications together.

Keywords: semi-arid soils, arid soils, diagnostic soil horizon, factor and genetic classification, substantive classification.

DOI: 10.24412/2542-2006-2024-3-67-80

EDN: LNNNJH

In Russia, agriculture is mainly concentrated in steppe and dry-steppe zones. The dry-steppe soils have been attempted to be systematized many times in studies that find the main patterns of soil formation and soil condition. One of the most important properties of soils that started to attract the attention of scientists is the presence of soil carbonates ($CaCO_3$).

Soil carbonates, namely, their location and morphology, size, shape and distribution along the profile, indicate clearly which regimes and processes the soils are affected by. They must be studied in order to solve theoretical (genesis of soils, their classification and evolution) and practical (soil change under irrigation, soil reclamation) problems of soil science.

Carbonates have both positive and negative effects on soils and crops, the positive one being observed with 5-15% of $CaCO_3$. However, their presence in the arable horizons does not optimize the soil structure, therefore, they are easily dispersed from the soil surface due to wind erosion, and they can also form a dense crust after rains and irrigation. Due to the current scale of agricultural

and reclamation impacts on soil cover, calcareous soils have spread widely throughout the steppe and dry-steppe zones. This phenomenon requires close attention.

Currently, in Russia, the soil scientists use three soil classifications, such as “Classification and Diagnostics of Soils of the USSR” (1977), “Classification and Diagnostics of Soils of Russia” (2004); and its further improvements, specifically “Field Guide to Soils of Russia” (2008) and the works of N.B. Khitrov and M.I. Gerasimova (2021, 2022)), and the international classification “World Reference Base for Soil Resources” or “WRB” (IUSS Working Group WRB, 2022). In each of them, soils with carbonates are assigned to different groups based on different criteria.

The aim of our article is to review the origin and main properties of calcareous soils, their status, similarities and differences in the modern classifications that are used in Russia.

Calcareous Soils and Their Properties

A large number of works in the soil science segment study the carbonates in soils of arid and semi-arid world regions, where they are most widespread. Some scientists, such as H.E. Doner and W.C. Lynn (1989), have identified the following sources of carbonate occurrence in soils:

1) inheritance from parent rock;
2) sediments from solutions that were formed as a result of the weathering of calcium-containing minerals;
3) deposits formed by the increase in Ca^{2+} due to CO_2 emission during outgassing;
4) deposition of carbonate dust on the soil surface and its penetration deeper into the profile together with solutions;
5) atmospheric precipitations and their reaction with HCO_3^- in the soil solutions;
6) inflow with groundwater.

In Russia, scientific literature notes that the most common accumulation of $CaCO_3$ in soils is due to their inflow with groundwater (Kovda, 1973; Zaidelman et al., 2000; Rozanov, 1992). According to I.V. Kovda (2004), the abundance and diversity of carbonate nodules depend on the nature of soil-forming rocks. With the exception of soils of the gilgaic complex, carbonates are more abundant in soils that are formed on loess-like sediments rather than the argillaceous ones. Additionally, the nodules in soils of a single complex may differ in time of their formation.

In foreign literature, some scientists explain the presence of carbonates by their re-deposition since they are a material formed outside the profile (Kadry, 1972). Others believe that the sources of carbonate and gypsum in arid soils are atmospheric inputs, such as dust and those carbonates that were dissolved in rainwater (Dohrenwend et al., 1991; Gustavson et al., 1991). Some note that biological processes are involved in the formation of calcic and gypsic horizons: significant amounts of carbonates and gypsum are introduced into the soil as the plant material undergoes mineralization (Dregne, 1976). R.J. Amit and B.J. Harrison (1995) showed that the formation of horizons in Israeli soils was often associated with the fibrous structure of certain fungi, which would bring calcium to the soil after withering away.

Studying the negative and positive properties of calcareous soils through literature, we would like to mention their following properties. For example, L.T. Kadry (1972) highlighted that the main problems of land use in the Middle East were the surface crust, horizon cementation, low availability of phosphorus and micronutriens, as well as disturbance of potassium and magnesium nutrition of plants. J.C. Dixon (2009) presented a characterization of arid soils and noted that an increase in carbonates and gypsum concentrations was due to soil compaction and formation of petrocalcic and petrogypsic horizons.

I.S. de Soto et al. (2017) investigated the carbonate distribution by studying their granulometric fractions in a 0-20 cm deep arable layer in the irrigated lands of Navarra, Spain. As a result, they found out that the concentration of carbonates decreased systematically in the sand fraction, and

only the fertilizers were able to stabilize their concentration.

In the dry-steppe zone of European Russia, the irrigation carbonation of soils was first described by V.A. Baranovskaya and V.I. Azovtsev (1972, 1981) for the Volgograd Region. They showed that during the 40 years of irrigation the accumulation of carbonates had increased more than thrice in the 0.5 m deep soil layer regardless of the groundwater depth, with the easily soluble salts located at a considerable depth. Additionally, the authors admit that a partial inflow of $CaCO_3$ was possible during the irrigation with the water from the Volga River, because it had hydrocarbonates and calcium in its composition. Other researchers also considered the possibility of carbonate inflow with irrigation water in the irrigated lands of California (Wu et al., 2008).

The infusion of arable soils in the dry-steppe zone of Russia with carbonates was noted by other researchers as well (Lyubimova, 2018; Lyubimova, Degtyareva, 2000; Lyubimova, Novikova, 2016). They believe that a significant amount of carbonates enters during the three-tier plowing (that goes as deep as 40-50 cm, partially or fully displacing three soil horizons) and deep plowing (deeper than 50 cm), as well as when the carbonates redistribute within the profile due to changing moisture content in ameliorated soils. The movement of dissolved carbonates in agrogenetically transformed soils of solonetzic complexes is evidenced by the carbonate sediments inside and around the pores of the intact soil samples.

High carbonates concentration in the root layer of chestnut soils, calcareous chernozems and soils that were formed on the decaying limestone and marls disturbs the mineral nutrition of vineyards, leading to a plant disease known as chlorosis (Petrov, 2000). On the contrary, A. Larbi et al. (2017) noted the positive effect of carbonates on olive plants growing in the coastal saline lands of the Mediterranean Basin.

Numerous guides to soil characterization published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (Calcareous Soils, 1972; Soil Survey …, 1979; IUSS Working Group WRB, 2015) define such groups, as slightly calcareous soils with traces of carbonates up to 2%, calcareous soils (2-15%), moderately calcareous soils (15-25%) and highly calcareous soils (> 25%). They also note that calcareous soils create certain problems for agriculture. Calcisols (i.e. soils with > 15% carbonates) have a low content of organic matter and available nitrogen. High pH limits the mobility of phosphorus compounds, forming insoluble calcium phosphate, and thus their availability to plants.

It is believed that 10-15% concentration of $CaCO_3$ has a positive effect on soil properties. For example, they help to form stable macroporous aggregates and improve water-physical properties. When the concentration increases up to 25%, carbonates start to deposit inside the pores, reducing water permeability of soils. When the concentration is higher than 25%, soil density increases up to 1.6 g/cm^3 or more.

The finer carbonate crystals are, the more active their influence on the soil properties is. Therefore, the most active fraction of carbonate is ≤ 0.02 mm. After the irrigated calcareous soils dry up, the small (up to 2%) concentration of carbonates in them turns into a dense crust. Carbonate horizons that are permeable to water may be impermeable to roots.

The origin and distribution mechanisms of carbonates in soils depend on their initial content in soil-forming rocks, zonal and regional nature of soil-forming processes, and even anthropogenic impact, therefore, all of this should be taken into account when studying calcareous soils in each peculiar territory.

Status of Calcareous Soils in Different Soil Classifications

"Classification and Diagnostics of Soils of the USSR" (1977) is a genetic-factor one. It shows the systematic position of soils from the general taxonomic levels to more detailed ones. This classification uses the concept of "soil type", i.e. a group of soils characterized by similar

conditions, soil formation, profile structure and one main soil-forming process (e.g. chestnut soils). Types are divided into subtypes, a transitional stage between different soil types (e.g. dark chestnut soils, chestnut soils, light chestnut soils). Subtypes are divided into genera with local features of soil formation; they are distinguished by the presence of carbonates (e.g. calcareous, calcareous turbic, deeply effervescent). Genera distinguish soils by the development of their basic soil-forming processes (e.g. light-chestnut steppe calcareous deeply effervescent weak soils on loamy sediments).

According to this classification, carbonates in the surface horizons are common for chernozems, chestnut and brown soils. Various subtypes of these soils are divided into genera by the presence of carbonates (Classification …, 1977):

- *Deeply effervescent soils* have a deeper effervescence compared to other genera due to their lighter mechanical composition, lighter underlying bedrocks, or the local improvements of moisture conditions (washability) of the soil;
- *Calcareous (carbonate-soaked) soils* have stable surface effervescence, because their entire profile is filled with carbonates starting from the very top layer. In these soils, excretions of carbonates can be clearly visible in the humus horizon, appearing as veins, gray patches and mycelium, or fixed in its lower part or even underneath. The genesis of surface carbonates may be related to particularly heavy silt-like mechanical composition of the soils, as well as to provincial or local conditions of xerometamorphism, to relict phenomena, and to agrotechnical factors (that introduce carbonates into the arable layer during deep plowing);
- *Residual calcareous soils* are formed on calcareous rocks (e.g. chalk, limestone, marl), the clastic materials of which can be found in the profile of these soils. Large amounts of clastic material (except secondary carbonates) are concentrated under humus horizons A+AB ($CaCO_3$ ≥ 15-30%). Underneath, there is coarse rubbly eluvium or eluvo-deluvium of bedrock. General effervescence occurs on the surface or starts in the subsoil layer (i.e. bottom half of the A horizon);
- *Calcareous turbic soils* have high effervescence, usually on the surface, due to activity of burrowing animals that transfer carbonates from carbonate to humus horizon. These soils are characterized by mixed materials from different genetic horizons, presence of light-brown areas, channels and cavities in humus horizon, all filled with parent rock, and dark humic areas (i.e. moleholes) in the bottom part of the profile. The profile itself is loose, cavernous, and heterogeneous.

Subdivision of soils within genera by presence of strongly calcareous horizons ($CaCO_3$ > 30%) in soils and subsoils. Division by the depth (cm) of the upper boundary of strongly calcareous horizon:

- surface calcareous < 30,
- highly calcareous = 30-60,
- shallowly calcareous = 60-100,
- deeply calcareous = 100-200,
- very deeply calcareous > 200.

Division by the thickness (cm) of the deeply calcareous horizon (layer):

- weak < 40,
- medium = 40-100,
- thick > 100.

Division by the structure: loose, compact, massive (Classification …, 1977).

If a soil profile contains carbonates within it, then its letter receives an index (k), for example, Bk.

"Classification and Diagnostics of Soils of Russia" (2004) refers to soil horizons as subhorizontal layers that differ in morphological and analytical parameters. The properties of horizons are determined by their genesis, therefore, these horizons are called genetic horizons.

Genetic horizons include natural and anthropogenically transformed horizons, the latter being the simultaneous result of natural processes and human activity, which allows natural and anthropogenically transformed soils to be considered in the same classification. A system of interconnected genetic horizons forms a soil profile, which is used for further diagnosis and classification of soils (Soil Taxonomy and Classification, 2016).

Some terms from this classification are still in use and considered traditional (e.g., chernozems); some reflect anthropogenic activities (e.g., agrochernozems). Unfortunately, it does not have any landscape terms (e.g., leached chernozems, steppe chernozems) due to the use of a substantive approach to soil diagnosis, as opposed to the factor-genetic and ecological approach that was applied in "Classification …" (1977).

This classification made a significant innovation by distinguishing supra-type taxa, classes and divisions. Divisions include soils by similarity of the main soil-forming processes that define the main features of the profile (e.g. agrozems). A type is a basic taxonomic unit in divisions; it is characterized by a system of main horizons and common properties, which, in their turn, are defined by similarity of soil-forming regimes and processes (e.g., dark agrozems). Subtype is a taxonomic unit in types; it is characterized by qualitative modifications of its main genetic horizons, which reflect the most significant features of soil-forming processes and evolution (e.g. dark dispersed calcareous agrozems). Genus is a taxonomic unit determined by the saturation degree of soil absorbing complex, presence of carbonates, gypsum, and salinity chemistry. Species is a taxonomic unit that reflects quantitative indicators of the degree at which the features defining soil type, subtype and genus express themselves (Soil taxonomy and classification, 2016).

According to "Classification and Diagnostics of Soils of Russia" (2004) and "Field Guide to Soils of Russia" (2008), natural calcareous soils belong to the division of accumulative calcareous low-humus soils, common in steppe, dry steppe and semi-desert. They have a highly calcareous profile with metamorphism manifestations, and include such types as accumulative calcareous, textural calcareous and turbic dark humus, and light humus soils and solonetz.

Division of soil types by the depth (cm) of carbonate occurrence, which is determined by the effervescence depth from application of 10% HCl:

- calcareous < 30;
- highly calcareous (weakly leached) = 30-50;
- averagely calcareous (averagely leached) = 50-80;
- deeply calcareous (highly leached) = 80-120.

These days, due to agriculture soils are often deprived of their upper diagnostic horizons as a result of anthropogenic activities, water erosion, deflation and mechanical removal of those horizons. In the case with calcareous soils, it is their partially preserved accumulative calcareous horizon or its bottom part transitioning into the soil-forming rock that comes to the surface. Such soils are included in the agrosoils division, which unites soils with the profile that consists of homogeneous agrohorizon thicker than 25 cm and usually abruptly transits into a natural middle genetic horizon or directly into the soil-forming rock. The agrohorizon is a derivative of one or more upper horizons of natural soils, meaning that agrozems have their own different system of horizons. Types of agrozems are determined by the specificity of agrohorizon and its combinations with the subsoil part of the profile that is made of soil-forming rock or different middle horizons. Types have many subtypes since agrosoils are formed from a wide range of soil types and inherit features of their middle horizons, including features related to anthropogenic impacts. The following types of calcareous soils are distinguished: dark accumulative calcareous agrozems, textural calcareous agrozems, accumulative calcareous turbozems, dark accumulative calcareous turbozems plus all their subtypes.

The main subtypes are distinguished by the specificity of carbonate accumulation inherited

from the natural soils:

1) *Segregated (nc)* can be diagnosed by the presence of segregated carbonate clusters (known as "beloglazka" in Russian, or "white eyes") in the accumulative calcareous horizon. They are formed from segregated and migratory-segregated subtypes;

2) *Micellar (mc)* can be diagnosed by the presence of white and yellowish veins of "pseudomycelium" in the accumulative calcareous horizon. They are formed mainly from abraded migratory-micellar subtypes of chernozems;

3) *Dispersed calcareous carbonate (dc)* can be diagnosed by the presence of light blurry spots of diffusely dispersed carbonates in the mineral mass of the accumulative calcareous horizon. They are formed from abraded forms of dispersed calcareous subtypes of chernozems (Classification …, 2004).

"World Reference Base for Soil Resources" or WRB (2022) is an international classification system created as a universal language for soil scientists from around the world. Its main purpose is to correlate local soil classifications and create a language that does not replace the local national systems.

Unlike Russian classifications, which use a multi-level hierarchical systems, WRB uses a 2-level non-hierarchical one. At the first level, it distinguishes 32 referential groups. To assign a soil to a group, diagnostic horizons and other attributes are required.

At the second, more detailed level, principal and supplementary qualifiers are used for more accurate soil characterization. They characterize soil features within referential groups, as well as forms transitional from one group to another. To specify properties of diagnostic horizons, attributes and materials, they refer to different chemical, physical, mineralogical properties, as well as granulometric composition.

According to WRB (Soil description guide, 2012), soil carbonates can be inherited from the soil-forming rock (in this case, they are called primary carbonates) or result from the soil formation (secondary carbonates). In the latter case, they are concentrated in the form of powdery sediments, cutans on the surface of peds, nodules, surface or deep-seated carbonate layers or crusts. The presence of $CaCO_3$ is revealed by a few drops of 10% HCl solution added to the soil, after which their amount can be estimated the intensity of carbon dioxide emission (Table 1). In most cases, during fieldwork it is difficult to determine whether carbonates are primary or secondary.

Table 1. Determination of carbonate content in soil during field work (Soil description guide, 2012).

No.	Index	$CaCO_3$ %	Level of carbonate content	Visual and audible signs of effervescence
1	N	0	not present	not present
2	SL	0-2	low	audible, but not visible
3	MO	2-10	medium	visible
4	ST	10-25	high	highly visible effect after HCl application, bubbles form a thin film
5	EX	> 25	very high	strong HCl reaction that immediately creates a thick bubbly film

The intensity of carbonates interaction with HCl depends on the particle size of each soil: despite the same carbonate content, it is usually more intense in sandy substrates than in heavy loamy soils. Other components present in the soil, such as roots, also interact with HCl and make sounds in the process; although, for example, dolomite has a weaker reaction than calcite.

The test HCl should be carried out separately for primary and secondary carbonates, because

secondary ones usually have a stronger reaction. Secondary carbonates can be presented in soils differently, in diverse forms that are an important feature in soils diagnostics, when their genesis is being determined. It is believed that loose carbonate nodules are of illuvial origin, while the dense ones are hydrogenic. Their forms are described in Table 2.

Table 2. Classification of the secondary carbonates forms (Soil description guide, 2012).

No.	Index	Description
1	SC	Soft white nodules (“beloglazka”)
2	HC	Dense nodules (loess dolls)
3	HHC	Dense but hollow nodules (popouts)
4	D	Powdery sediments
5	PM	Pseudomycelium[1] (i.e. carbonates fill the pores in a way that fungal mycelium does)
6	M	A layer of marl
7	HL	Dense cemented calcareous horizon(s) as thick as 10 cm or lower

The following values of carbonate content in soils are important for classification:

- carbonate content (in terms of calcium carbonate) ≥ 2% – *calcaric*;
- ≥ 15% of carbonate content in a fine soil is partially of secondary origin – *calcic*;
- solid horizon with calcium carbonate is partially of secondary origin – *petrocalcic*;
- 15-25% of calcium carbonate in a fine soil is partially of secondary origin – *hypocalcic*;
- ≥ 50% of calcium carbonate in a fine soil is partially of secondary origin – *hypercalcic*.
- if the soil has calcic horizon with its upper boundary at 50-100 cm from the surface, then this soil can be referred to calcisols, but only if the entire soil mass between the upper calcic boundary and 50 cm contains carbonates.

Calcisols and gypsosols can have an argillic[2] horizon, but only if that horizon is saturated with calcium carbonates in calcisols, or calcium carbonates and gypsum in gypsosols (Soil description guide, 2012).

Thus, according to “Classification …” (1977), calcareous soils are soils that are effervescent throughout the entire massif; however, according to “Classification …” (2004) and WRB (IUSS Working Group WRB, 2022), calcareous soils are soils that are effervescent at least in one horizon. Each classification separates calcareous soils that are formed on calcareous rocks and soils that are created during soil formation. They also have different approaches to division of calcareous soils by the amount of carbonates and the depth of calcareous horizons.

Further below we describe a morphological structure and different approaches to classification of fallow soil (Volga Upland, “Oroshayemaya” experimental station) and meadow soil, anthropogenically transformed and irrigated (Khvalynsk clay plain, Svetloyarsky irrigated massif), both located in the dry steppe of Volgograd Region (Fig.).

In a fallow soil (Fig. A), the carbonates was found at the 30 cm depth, in a transitional calcareous alkaline horizon (Bca, sn). This is a 50-year-old fallow soil, close enough to a virgin soil with the deeply seated carbonates. According to “Classification …” (1977), it is light chestnut alkaline postagrogenic medium loamy soil on loess-like loams. According to “Classification …” (2004) (and “Field Guide to Soils of Russia”” (2008)), it is and agrochestnut (AJrz, pa; Ppa, rz)

[1] Carbonates that form pseudomycelium are not considered secondary carbonates, if they migrates every season and do not remain at one constant depth.

[2] Argillic horizon (Lat. “argilla” – clay) is a middle horizon, which has higher silt content compared to the upper horizon, possibly, due to illuvial accumulations.

alkaline (BMKsn) postagrogenic solonchak-like soil slightly saline (BCAnc, s) gypsiferous medium loamy soil on pale-brown dusty loams. According to WRB (IUSS Working Group WRB, 2022), it is Haplic Kastanozem (Loamic, Protosodic, Bathygypsic).

Irrigated soil (Fig. B) changed its profile due to carbonate material being piled on top during the land reclamation, specifically, the planning of the future field. According to "Classification …" (1977), this soil is a former meadow-chestnut soil, irrigated with an arable piled calcareous horizon, medium loamy on medium Khvalyn deposits. According to "Classification …" (2004) (and "Field Guide to Soils of Russia" (2008)), this soil is a stratified surface calcareous (Pr, ca) agrozem on the buried dark humic quasi-gleyed (AUq) clay-illuvial quasi-gleyed chernozem (BIq), medium loamy on middle Khvalyn deposits. This description in particular means that this soil is agricultural and cultivated, with a thick agrohorizon differs from the underlying layers. Additionally, its agrohorizon is stratified, i.e. it was piled on the organogenic humic horizon of the meadow-chestnut soil, and it is surface calcareous since the materials that were piled on top of it contain carbonates. Below the arable layer, the horizons are overmoistened and quasi-gleyed. According to WRB (IUSS Working Group WRB, 2022), it is Luvic Phaeozem (Loamic, Aric, Novic).

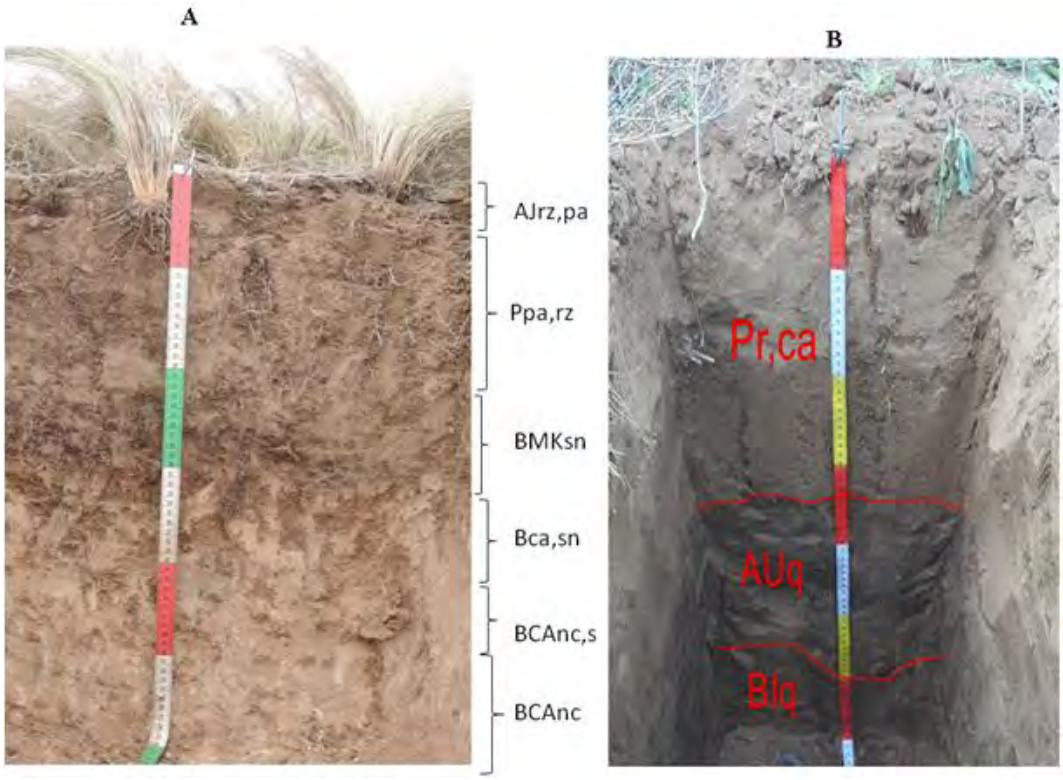


Fig. A – morphological profile of fallow light chestnut soil in dry steppe (Volgograd Oblast, Volga Upland, "Oroshayemaya" experimental station, 2022), B – morphological profile of modern irrigated soil (Volgograd Oblast, Khvalynsk clay plain, Svetloyarsky irrigated massif, 2016).

Conclusions

Using literature sources as the basis, we have introduced various mechanisms of carbonates occurrence in soils (including anthropogenic impact), and both their positive and negative properties. Their occurrence and distribution mechanisms depend on their initial presence in soil-forming rocks, zonal and regional character of soil-forming processes, anthropogenic impact, and crops. Therefore, it is crucial to take into account the features of each territory when studying

calcareous soils.

We have covered the status of calcareous soils in different soil classifications used in Russia, along with their peculiarities and common features. “Classification and Diagnostics of Soils of the USSR” (1977) is factor-genetic, showing the systematic position of soils from the general taxonomic levels to more detailed ones. This classification uses the concept of “soil type”, i.e. a group of soils characterized by similar conditions, soil formation, profile structure and one main soil-forming process. It is an open taxonomy, meaning that new soils can be added to it whenever new material is obtained.

“Classification and Diagnostics of Soils of Russia” (2004) along with its expansion “Field Identifier of Soils of Russia” (2008) is an open taxonomy as well. However, it refers to soil horizons as subhorizontal layers that differ in morphological and analytical parameters. The properties of horizons are determined by their genesis, therefore, these horizons are called genetic horizons and include both natural and anthropogenically transformed horizons. This, in its turn, allows to take into account both natural and anthropogenically transformed soils in one classification. The system of interconnected genetic horizons forms a soil profile, which is used for further diagnosis and classification of soils.

“World Reference Base for Soil Resources” (IUSS Working Group WRB, 2022) is an international classification system, the main purpose of which is to correlate local soil classifications. It does not replace the national classification systems, but helps to compare them, facilitating the process of identification and naming of major soil varieties. Unlike the multi-level hierarchical classifications in Russia, WRB only has two levels and is non-hierarchical.

After comparing all three systems, we found out that calcareous soils in the “Classification …” (1977) are soils that are effervescent throughout the entire massif. Meanwhile, the calcareous soils in both “Classification …” (2004) and WRB (IUSS Working Group WRB, 2022) are soils that are effervescent at least in one horizon. Each classification separates calcareous soils that are formed on calcareous rocks and soils that are created during soil formation. They also have different approaches to division of calcareous soils by the amount of carbonates and the depth of calcareous horizons. Therefore, for the complete description of modern calcareous soils, it is advised to use all three classifications together.

Funding. This work was carried out as part of the state task No. 0591-2019-0023 “To study Transformation, Evolution and Degradation of Soil Cover of Agrolandscapes at Different Organization Levels, Including Intra-field Heterogeneity and Using a Combination of Ground Surveys and Digital Technologies”, and No. FGUR-2022-0009 (122022800220-5).

REFERENCES

1. Baranovskaya VA, Azovtsev VI. Effect of irrigation on carbonate migration in soils of the Volga region [Vliyaniye orosheniya na migratsiyu karbonatov v pochvakh Povolzh’ya]. *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]*. 1981;10:17-27.
2. Baranovskaya VA, Azovtsev VI. $CaCO_3$ and its migration in irrigated soils of the Trans-Volga region [*$CaCO_3$ i yego migratsiya v oroshayemykh pochvakh Zavolzh’ya*] *Improving methods for assessing saline soils, forecasting and preventing secondary*

REFERENCES

1. *Барановская В.А., Азовцев В.И.* 1981. Влияние орошения на миграцию карбонатов в почвах Поволжья // Почвоведение. № 10. С. 17-27.
2. *Барановская В.А., Азовцев В.И.* 1972. $CaCO_3$ и его миграция в орошаемых почвах Заволжья // Совершенствование методов оценки засоленных почв, прогнозирование и предупреждение вторичного засоления: тезисы всесоюзного совещания, г. Харьков, 23-26 октября 1972 г. М.: Минсельхоз. С. 75-76.

salinization: Proc. of the All-Union Conference, Kharkov, October 23-26, 1972 *[Sovershenstvovaniye metodov otsenki zasolennykh pochv, prognozirovaniye i preduprezhdeniye vtorichnogo zasoleniya: tezisy vsesoyuznogo soveshchaniya]*. Moscow: Minsel'khoz, 1972:75-76.

3. Zaidelman FR, Selishchev AA, Nikiforova AS. Carbonate concretions of humid landscape soils and their diagnostic value [Karbonatnyye konkretsii pochv gumidnykh landshaftov i ikh diagnosticheskoye znacheniye]. *Eurasian Soil Science [Pochvovedeniye]*. 2000;4:405-415.
4. Classification and diagnostics of soils of Russia [*Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii*]. Smolensk: Oykumena, 2004:342.
5. Classification and diagnostics of soils of the USSR [*Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR*]. Moscow: Kolos, 1977:223.
6. Kovda VA. Fundamentals of the doctrine of soils. General theory of the soil-forming process [*Osnovy ucheniya o pochvakh. Obshchaya teoriya pochvoobrazovatel'nogo protsessa. V 2-kh knigakh*]. In 2 books. Moscow: Nauka, 1973;1:447;2:468.
7. Kovda IV. Carbonate neoplasms in soils: old and new problems of study [*Karbonatnyye novoobrazovaniya v pochvakh: staryye i novyye problemy izucheniya*] *Soils, biochemical cycles and biosphere [Pochvy, biokhimicheskiye tsikly i biosfera] Development of ideas of Viktor Abramovich Kovda [Razvitiye idey Viktora Abramovicha Kovdy]*. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2004:115-136.
8. Lyubimova IN. Postmeliorative Transformation of Carbonate and Gypsum Profiles of Solonetzic Soils in the Dry Steppe Zone. *Eurasian Soil Science.* 2018;51 (11):1288-1296.
9. Lyubimova IN, Degtyareva ET. Changes in the Carbonate Distribution in the Soils of Solonetzic Complexes at Agrogenic Impact. *Eurasian Soil Science.* 2000;33 (7):746-751.
10. Lyubimova IN, Novikova AF. Changes in the Properties of Solonetzic Soil

3. *Зайдельман Ф.Р., Селищев А.А., Никифорова А.С.* 2000. Карбонатные конкреции почв гумидных ландшафтов и их диагностическое значение // Почвоведение. № 4. С. 405-415.
4. Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 342 с.
5. Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М.: Колос. 223 с.
6. *Ковда В.А.* 1973. Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса. В 2-х книгах. М.: Наука. Кн. 1. 447 с.; Кн. 2. 468 с.
7. *Ковда И.В.* 2004. Карбонатные новообразования в почвах: старые и новые проблемы изучения // Почвы, биохимические циклы и биосфера. Развитие идей Виктора Абрамовича Ковды. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 115-136.
8. *Любимова И.Н.* 2018. Постмелиоративная трансформация карбонатного и гипсового профилей солонцовых почв сухостепной зоны // Почвоведение. № 11. С. 1199-1208. [*Lyubimova I.N.* 2018. Postmeliorative Transformation of Carbonate and Gypsum Profiles of Solonetzic Soils in the Dry Steppe Zone // Eurasian Soil Science. Vol. 51. No. 11. P. 1288-1296.]
9. *Любимова И.Н., Дегтярева Е.Т.* 2000. Изменение карбонатного профиля почв солонцовых комплексов при агрогенном воздействии // Почвоведение. № 7. С. 855-860. [*Lyubimova I.N., Degtyareva E.T.* 2000. Changes in the Carbonate Distribution in the Soils of Solonetzic Complexes at Agrogenic Impact // Eurasian Soil Science. Vol. 33. No. 7. P. 746-751.]
10. *Любимова И.Н., Новикова А.Ф.* 2016. Влияние различных антропогенных воздействий на изменение почв солонцовых комплексов сухостепной зоны // Почвоведение. № 5. С. 633-643. [*Lyubimova I.N., Novikova A.F.* 2016. Changes in the Properties of Solonetzic Soil Complexes in the Dry Steppe Zone under Anthropogenic Impacts // Eurasian Soil Science. Vol. 49. No. 5. P. 581-590.]
11. *Петров Н.Н.* 2000. Система закладки и

Complexes in the Dry Steppe Zone under Anthropogenic Impacts. *Eurasian Soil Science.* 2016;49 (5):581-590.
11. Petrov NN. The system of planting and cultivating vineyards on calcareous soils of Russia [*Sistema zakladki i vozdelyvaniya vinogradnikov na karbonatnykh pochvakh Rossii*] PhD Thesis. Novocherkassk, 2000:60.
12. Field guide to soils of Russia [*Polevoy opredelitel' pochv Rossii*]. Moscow: Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchayeva, 2008:182.
13. Rozanov AB. Carbonatization [*Karbonatizatsiya*] *Elementary soil-forming processes: an experience of conceptual analysis, characteristics, taxonomy [Elementarnyye pochvoobrazovatel'nyye protsessy: opyt kontseptual'nogo analiza, kharakteristika, sistematika]*. Moscow: Nauka, 1992:23-25.
14. Soil description guide [*Rukovodstvo po opisaniyu pochv*]. Rome: FAO, 2012:100.
15. Soil taxonomy and classification [*Sistematika i klassifikatsiya pochv*] / eds. A.O. Ragimov, M.A. Mazirov, E.M. Shenterova, A.N. Rozhkova. Vladimir: Izd-vo VlGU, 2016:132.
16. Khitrov NB, Gerasimova MI. Proposed Changes in the Classification of Soils in Russia: Diagnostic Features and Parent Rocks. *Eurasian Soil Science.* 2022;55 (3):1-10.
17. Khitrov NB, Gerasimova MI. Diagnostic Horizons in the Classification System of Russian Soils: Version 2021. *Eurasian Soil Science.* 2021;55 (3):1-10.
18. Amit RJ, Harrison BJ. Biogenic Calcite Horizon Development under Extremely Arid Conditions. *Advances in GeoEcology.* 1995;28:65-88.
19. Calcareous Soils. FAO Soils Bulletin No. 21. Rome: FAO, 1972:253.
20. de Soto IS, Virto I, Barre P, Fernandez-Ugalde O, Anton R, Martinez I, Chaduteau C, Enrique A, Bescansa P. A model for Field-Based Evidences of the Impact of Irrigation on Carbonates in the Tilled Layer of Semi-Arid Mediterranean

возделывания виноградников на карбонатных почвах России. Автореф. дисс. … с.-х.н. Новочеркасск. 60 с.
12. Полевой определитель почв России. 2008. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 182 с.
13. *Розанов А.Б.* 1992. Карбонатизация // Элементарные почвообразовательные процессы: опыт концептуального анализа, характеристика, систематика. М.: Наука. С. 23-25.
14. Руководство по описанию почв. 2012. Рим: ФАО. 100 с.
15. Систематика и классификация почв. 2016 / Сост. А.О. Рагимов, М.А. Мазиров, Е.М. Шентерова, А.Н. Рожкова. Владимир: Изд-во ВлГУ. 132 с.
16. *Хитров Н.Б., Герасимова М.И.* 2022. Предлагаемые изменения в классификации почв России: диагностические признаки и почвообразующие породы // Почвоведение. № 3. С. 3-14. [*Khitrov N.B., Gerasimova M.I.* 2022. Proposed Changes in the Classification of Soils in Russia: Diagnostic Features and Parent Rocks // Eurasian Soil Science. Vol. 55. No. 3. P. 1-10.]
17. *Хитров Н.Б., Герасимова М.И.* 2021. Диагностические горизонты в классификации почв России: версия 2021 г. // Почвоведение. № 8. С. 899-910. [*Khitrov N.B., Gerasimova M.I.* 2021. Diagnostic Horizons in the Classification System of Russian Soils: Version 2021 // Eurasian Soil Science. Vol. 55. No. 3. P. 1-10.]
18. *Amit R.J., Harrison B.J.* 1995. Biogenic Calcite Horizon Development under Extremely Arid Conditions // Advances in GeoEcology. Vol. 28. P. 65-88.
19. Calcareous Soils. 1972. FAO Soils Bulletin No. 21. Rome: FAO. 253 p.
20. *de Soto I.S., Virto I., Barre P., Fernandez-Ugalde O., Anton R., Martinez I., Chaduteau C., Enrique A., Bescansa P.* 2017. A model for Field-Based Evidences of the Impact of Irrigation on Carbonates in the Tilled Layer of Semi-Arid

Soils. *Geoderma.* 2017;297:48-60.
21. Doner HE, Lynn WC. Carbonate, Halide, Sulfate, and Sulfide Minerals. *Minerals in Soil Environments.* 1989:279-330.
22. Dixon JC. Aridic Soils, Patterned Ground, and Desert Pavements. Geomorphology of Desert Environments. Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V., 2009:101-122.
23. Dohrenwend JC, Bull WB, McFadden LD, Smith GI, Smith RSU, Wells DG. Quaternary Geology of the Basin and Range Province in California. Quaternary Non-Glacial Geology: Conterminous United States / ed. R.B. Morrison. 1991:321-52.
24. Gustavson TC, Baumgardner RW, Caran SC, Holliday VT, Mehnert HH, O'Neill JM, Reeves JrCC. Quaternary Geology of the Southern Great Plains and an Adjacent Segment of the Rolling Plains. Quaternary Non-Glacial Geology: Conterminous United States / ed. R.B. Morrison. 1991:477-501.
25. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. 4th ed. Vienna, Austria: International Union of Soil Sciences (IUSS), 2022:234.
26. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO, 2015:192.
27. Kadry LT. Distribution of Calcareous Soils in the Near East Region, Their Reclamation and Land Use Measures and Achievements. FAO/UNDP Regional Seminar on Reclamation and Management of Calcareous Soils. 1972, Available at https://www.fao.org/4/x5868e/x5868e03.htm (Date of Access 01/09/2024).
28. Larbi A, Kchaou H, Gaaliche B, Gargouri K, Boulal H, Morales F. Supplementary Potassium and Calcium Improves Salt Tolerance in Olive Plants. *Scientia Horticulturae.* 2020;260:Article No. 108912.

Mediterranean Soils // Geoderma. Vol. 297. P. 48-60.
21. *Doner H.E., Lynn W.C.* 1989. Carbonate, Halide, Sulfate, and Sulfide Minerals // Minerals in Soil Environments. P. 279-330.
22. *Dixon J.C.* 2009. Aridic Soils, Patterned Ground, and Desert Pavements // Geomorphology of Desert Environments. Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V. P. 101-122.
23. *Dohrenwend J.C., Bull W.B., McFadden L.D., Smith G.I., Smith R.S.U., Wells D.G.* 1991. Quaternary Geology of the Basin and Range Province in California // Quaternary Non-Glacial Geology: Conterminous United States / Ed. R.B. Morrison. P. 321-52.
24. *Gustavson T.C., Baumgardner R.W., Caran S.C., Holliday V.T., Mehnert H.H., O'Neill J.M., Reeves Jr.C.C.* 1991. Quaternary Geology of the Southern Great Plains and an Adjacent Segment of the Rolling Plains // Quaternary Non-Glacial Geology: Conterminous United States / Ed. R.B. Morrison. P. 477-501.
25. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources // International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. 4th ed. Vienna, Austria: International Union of Soil Sciences (IUSS). 234 p.
26. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015 // International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO. 192 p.
27. *Kadry L.T.* 1972. Distribution of Calcareous Soils in the Near East Region, Their Reclamation and Land Use Measures and Achievements // FAO/UNDP Regional Seminar on Reclamation and Management of Calcareous Soils [Электронный ресурс https://www.fao.org/4/x5868e/x5868e03.htm (дата обращения 01.09.2024).]
28. *Larbi A., Kchaou H., Gaaliche B., Gargouri K., Boulal H., Morales F.* 2020.

29. Soil Survey Investigations for Irrigation. FAO Soils Bulletin No. 42. Rome: FAO, 1979:188.
30. Wu LS, Wood Y, Jiang PP, Li L, Pan G, Lu LQ, Pan GX, Lu JH, Chang AC, Enloe HA. Carbon Sequestration and Dynamics of Two Irrigated Agricultural Soils in California. *Soil Science Society of America Journal.* 2008;72:808-814.

Supplementary Potassium and Calcium Improves Salt Tolerance in Olive Plants // Scientia Horticulturae. Vol. 260. Article No. 108912.
29. Soil Survey Investigations for Irrigation. 1979. FAO Soils Bulletin No. 42. Rome: FAO. 188 p.
30. *Wu L.S., Wood Y., Jiang P.P., Li L., Pan G., Lu L.Q., Pan G.X., Lu J.H., Chang A.C., Enloe H.A.* 2008. Carbon Sequestration and Dynamics of Two Irrigated Agricultural Soils in California // Soil Science Society of America Journal. Vol. 72. P. 808-814.

УДК 631.4

КАРБОНАТНЫЕ ПОЧВЫ: ИХ СВОЙСТВА И ПОЛОЖЕНИЕ В РАЗНЫХ КЛАССИФИКАЦИЯХ

© 2024 г. И.Н. Горохова, Е.И. Панкова

Почвенный институт им. В.В. Докучаева
Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2. E-mail: g-irina14@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.08.2024. После доработки 30.08.2024. Принята к публикации 01.09.2024.

В статье описаны основные механизмы появления карбонатов в почвах, процессы образования карбонатных почв, в т.ч. обусловленные антропогенными воздействиями, их положительные и отрицательные свойства. Отмечено, что причины появление карбонатов в почвах зависят от их наличия в почвообразующих породах, зонального и регионального характера почвообразовательных процессов, антропогенного воздействия на почвы, возделываемой культуры, поэтому при изучении карбонатных почв должны учитываться особенности каждой территории.

Рассмотрено положение карбонатных почв в разных почвенных классификациях России, их особенности и общие черты. В основе «Классификации и диагностики почв СССР» 1977 года лежит понятие «почвенного типа», т.е. группы почв, характеризующихся сходными условиями и режимами почвообразования, одним ведущим почвообразовательным процессом и сходным строением профиля. В «Классификации и диагностике почв России» (2004) и «Полевом определителе почв России» (2008) идентификацию типа почв выполняют по системе диагностических горизонтов, образующих почвенный профиль. Диагностические почвенные горизонты определяются по комплексу морфологических и аналитических показателей, который отражает генезис горизонта. Использование естественных и антропогенно-преобразованных диагностических горизонтов позволяет учесть в единой классификации естественные и антропогенно-преобразованные почвы. Международная классификационная система почв «World Reference Base for Soil Resources» (IUSS Working Group WRB, 2022) имеет двухуровневую систему в отличие от российских систем, использующих многоуровневую иерархическую.

В каждой из классификаций разделяются карбонатные почвы, сформированные на карбонатных породах и образованные в процессе почвообразования. Разделение карбонатных почв по количеству карбонатов и глубине расположения карбонатного горизонта во всех классификациях различны. Для полного описания карбонатных почв рекомендуется использовать характеристику почв из всех трех рассмотренных классификаций.

Финансирование. Работа выполнена по темам госзаданий № 0591-2019-0023 «Изучить трансформацию, эволюцию и деградацию почвенного покрова агроландшафтов на разных уровнях организации, включая внутриполевую неоднородность, с использованием сочетания наземных обследований и цифровых технологий» и № FGUR-2022-0009 (122022800220-5).
Ключевые слова: семиаридные почвы, аридные почвы, диагностический почвенный горизонт, факторно-генетическая классификация, субстантивная классификация.
DOI: 10.24412/2542-2006-2024-3-67-80
EDN: LNNNJH

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2024, том 8, № 3, с. 81-91

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

УДК 574.9; 575.858

ВИДОВАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ (*SORICIDAE, RODENTIA*) ЮЖНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

© 2024 г. Л.Г. Емельянова*, А.С. Оботуров**

**Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: biosever@yandex.ru
***Институт водных проблем РАН*
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: phantom-91_91@mail.ru

Поступила в редакцию 01.08.2024. После доработки 30.08.2024. Принята к публикации 01.09.2024.

Обобщены результаты многолетних учетов численности мелких млекопитающих (Soricidae, Rodentia) южной части Кольского полуострова на 2 ключевых участках (Лувеньгский участок Кандалакшского заповедника; остров Ряшков и близлежащая часть Карельского берега) с 2008 по 2018 гг. На Лувеньгском участке методом ловушко-линий учтены 7 видов: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *Microtus agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, *Clethrionomys (Myodes) rufocanus*, *Sorex araneus*, *Sorex caecutiens* и *Sorex minutus*. На о. Ряшков учтены 4 вида: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *Microtus agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, *Sorex araneus*; на Карельском берегу – 5 видов: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *Microtus agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, *Clethrionomys (Myodes) rufocanus*, *Sorex araneus.* За 11-летний период наблюдений на Лувеньгском участке отмечены пики численности в 2011, 2015 и 2018 гг., депрессии – в 2016 и 2017 гг. На о. Ряшков и Карельском берегу слабовыраженные пики наблюдали в 2011 и 2015 гг., депрессии – в 2010, 2012 и 2014 гг.

Для каждого из видов таксоценов мышевидных грызунов и насекомоядных отмечены наиболее заселенные местообитания. Выявлено, что сообщества южной части Кольского полуострова обычно 2-4-видовые с одним доминантом или с двумя, сменяющими друг друга в различные годы. На Лувеньгском участке наибольшее видовое разнообразие отмечено в экотоне березово-соснового с елью кустарничкового леса и клеверово-злакового луга на литорали (экотонная линия). В этом местообитании отмечена высокая численность трех видов: *S. araneus* (44 особи на 100 ловушко-суток), *C. (Myodes) glareolus* (15 ос./100 лов.-сут.), *C. (Myodes) rufocanus* (14.6 ос./100 лов.-сут.). В сообществах в основном доминируют *S. araneus* (средний индекс доминирования – 25.9%) и *C. (Myodes) glareolus* (14%). При этом *C. (Myodes) rufocanus* со средним индексом доминирования 14% достигает наибольшей численности на экотонной линии и в сосново-березовом брусничном зеленомошном лесу (14.6 и 14.0 ос./100 лов.-сут. соответственно). В сообществах о. Ряшков и Карельского берега численность мелких млекопитающих значительно ниже, чем на Лувеньгском участке. На о. Ряшков с незначительным превышением доминирует *C. (Myodes) glareolus*, но отсутствует *C. (Myodes) rufocanus.* В то же время на близко расположенном к нему Карельском берегу повсеместно доминирует *C. (Myodes) rufocanus* – до 5.7 ос./100 лов.-сут. при общей численности 6.3 ос./100 лов.-сут.

Наименее распространенные виды в сообществах южной части Кольского полуострова – это *Microtus (Alexandromys) oeconomus* и *M. agrestis*: первый встречается в учетах на всех ключевых участках с небольшой численностью (2.7 ос./100 лов.-сут.), второй отмечен на Лувеньгском участке в 2008 году (3 ос./100 лов.-сут. на экотонной линии), на о. Ряшков и на Карельском берегу – в 2011 году. Для более точного установления его наличия или отсутствия в сообществах нужны дальнейшие исследования. Лемминги вовсе не отмечены в сообществах Лувеньгского участка. *M. schisticolor* отмечали в 5 км от участка в горнотаежном ельнике с березой и рябиной чернично-вороничном зеленомошном (2.9 ос./100 лов.-сут) в 2012 году.

Погибших норвежских леммингов (*Lemmus lemmus*) находили во время пика численности 2012 года: 11 – в сосновом зеленомошном лесу в окрестностях с. Колвица (14 км от ключевого участка), 2 – в предгорном сосновом черничном зеленомошном лесу по грунтовой дороге из с. Лувеньга в Лувеньгские Тундры. В это время численность *Lemmus lemmus* в сообществах Лувеньгских Тундр достигала 2.0-2.2 ос./100 лов.-сут.
Ключевые слова: сообщества мелких млекопитающих, северная тайга, териофауна, Кандалакшский заповедник, численность, индекс доминирования.
DOI: 10.24412/2542-2006-2024-3-81-91
EDN: PQWXKI

В настоящее время для развития биомной концепции и уточнения границ региональных биомов необходимо устранение «белых пятен» – территорий, биота которых не изучена или слабо изучена (Емельянова, Оботуров, 2024). К таким очень слабо исследованным в геозоологическом плане регионам относится южная часть Кольского полуострова, принадлежащая к Кольско-Карельскому гипоарктическо-таежному равнинному биому. В этом аспекте особенно важными представляются результаты многолетних териогеографических исследований, позволяющих достаточно полно выявить фауну различных биотопов территории и состояние численности видов в них. Учеты численности мелких млекопитающих (*Soricidae*, *Rodentia*) ведутся в южной части Кольского полуострова на 2 ключевых участках: 1) Лувеньгский участок Кандалакшского заповедника, 2) остров Ряшков и Карельский берег. С 1952 по 1960 гг. экологию и динамику численности мелких млекопитающих на территории заповедника изучала Т.В. Кошкина; с 1965 года эту работу проводит Н.С. Бойко. Стационарные ловушко-линии были заложены на Карельском берегу Кандалакшского залива напротив о. Куричек и на о. Ряшкове (Бойко, 1984а, б; Кошкина, 1953, 1974). С 2008 года мы проводили учеты численности на Лувеньгском стационаре заповедника и на сопредельной территории в 15 и 12 км от заповедных стационарных линий. Район исследования расположен в северной тайге (Зоны и типы …, 1999), в Кольско-Карельском гипоарктическом таежном биоме (Биомы России, 2018). Лувеньгский участок занимают урочища северотаежных морских равнин, о. Ряшков и Карельский берег – северотаежные урочища на вараках (денудационных и денудационно-тектонических низких скальных грядах с мощным, но прерывистым покровом четвертичных отложений; Атлас …, 1971).

Цель работы – выявить структуру и динамику численности населения таксоценов насекомоядных и грызунов Лувеньгского участка Кандалакшского заповедника и о. Ряшкова с прилежащей к нему частью Карельского берега.

Материалы и методы

Под термином «*таксоцен*» мы понимаем связанную с определенным типом биогеоценозов биосистему близкородственных видов (Chodorowski, 1959; Hutchinson, 1967; Николаев, 1977). Выявлено, что на Лувеньгском ключевом участке присутствуют два таксоцена:

1) мышевидных грызунов (5 видов): полевка-экономка (*Microtus (Alexandromys) oeconomus*)[1], темная (пашенная) полевка (*M. agrestis*), рыжая полевка (*Clethrionomys (Myodes) glareolus*), красно-серая полевка (*C. (Myodes) rufocanus*), лесной лемминг (*Myopus schisticolor*);

2) насекомоядных (4 вида): обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus*), средняя бурозубка (*S. caecutiens*), малая бурозубка (*S. minutus*), обыкновенная кутора (*Neomys fodiens*), лесной

[1] Латинские названия видов животных даны по базе данных «Catalogue of Life» (2024).

лемминг (*Myopus schisticolor*).

Два вида (*N. fodiens* и *M. schisticolor*) отмечены в этот период только в учетах методом ловчих канавок.

На Лувеньгском участке и сопредельной территории материалы о фауне и населении мелких млекопитающих собраны в июле-августе (в 2013 г. – в сентябре) по стандартной методике – линиями ловушек, расставленных через 5 м. Большинство ловушко-линий экспонировалось 2 суток, но были и линии, работавшие 1 или 3 суток.

На о. Ряшкове и Карельском берегу (Кандалакшский заповедник) по одной линии из 100 ловушек экспонировались несколько дней в мае и августе-сентябре. Линии проходили через разные местообитания – сосновые и еловые леса, приморские луга (Бойко, 2008, 2009, 2011-2013, 2015-2017).

На Лувеньгском участке и на других заповедных островах проводились также учеты методом ловчих канавок и его модификациями (в публикацию не включены).

Результаты и обсуждение

Лувеньгский участок и сопредельная территория. Сообщества мелких млекопитающих окрестностей данного участка в основном монодоминантны и включают 2-4 вида (табл.). В 2016 и 2017 гг. отмечали депрессию численности мелких млекопитающих: в 2016 году не было ни поимок, ни проловов; в 2017 году во всех местообитаниях отмечали очень низкую численность – до 2.6 осособей на 100 лов.-сут. в елово-сосновом кустарничково-зеленомошном лесу с каменистыми россыпями. Максимальная численность отмечена в 2011 году (54 ос./100 лов.-сут.) в экотоне березово-соснового с елью кустарничкового леса и клеверово-злакового луга на литорали. Пики численности также были отмечены в 2015 и 2018 гг.

В сообществах Лувеньгского участка обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus*) – самый многочисленный вид со средним индексом доминирования 25.9%, отмеченный в половине изученных местообитаний. Наибольшей численности он достигает в экотоне березово-соснового с елью кустарничкового леса и клеверово-злакового луга на литорали (экотонная линия) – 44 ос./100 лов.-сут.

Средняя и малая бурозубки (*S. caecutiens*, *S. minutus*) немногочисленны в сообществах. Их максимальная численность – 6 ос./100 лов.-сут. (экотонная линия).

Лесные полевки встречаются в трети всех исследованных местообитаний (средние индексы доминирования – около 14%). Максимальная численность рыжей полевки (*Clethrionomys (Myodes) glareolus*) в исследованных сообществах – 15 ос./100 лов.-сут. (экотонная линия). Красно-серая полевка (*C. (Myodes) rufocanus*) также многочисленна на экотоне березово-соснового с елью кустарничкового леса и клеверово-злакового луга на литорали и в сосново-березовом бруснично-зеленомошном лесу – 14.6 и 14.0 ос./100 лов.-сут. соответственно (фото).

Полевка-экономка (*Microtus (Alexandromys) oeconomus*) в сообществах немногочисленна, ее средний индекс доминирования составил 4.9% (учеты ловушко-линиями). На экотонной линии ее численность достигала 2.7 ос./10 лов.-сут.

Индекс доминирования и численность темной (пашенной) полевки (*M. agrestis*) примерно такой же, как у экономки: она населяет 9% местообитаний, а ее индекс доминирования в сообществах составляет 3.7%.

Лесной лемминг (*Myopus schisticolor*) на Лувеньгском участке отмечен не был, а ближайшая его находка была в 5 км – в 2012 году в еловом лесу с березой и рябиной чернично-вороничном зеленомошном на горе Лувеньгские Тундры. Норвежский лемминг (*Lemmus lemmus*) также не встречается в сообществах Лувеньгского участка.

Таблица. Сообщества мелких млекопитающих окрестностей Лувеньги и островов Кандалакшского залива. **Table.** Micromammalia communities near Luvenga and the islands of Kandalaksha Bay.

Территория и местообитания	Год	Объем учетов	Численность, ос. / 100 лов.-сут.								
			Общая	***M. oec.***	***M. agr.***	***Cl. glar.***	***Cl. ruf.***	***S. ar.***	***S. caec.***	***S. min.***	**Другие**
Лувеньгский стационар Iа стационарная линия №1 (экотонная): экотон березово-соснового с елью кустарничкового леса и клеверово-злакового луга на литорали	2008	100	7	1	3	—	—	3	—	—	—
	2010	20	20	—	—	—	—	**20**	—	—	—
	2011	50	**54**	2	—	8	—	**44**	—	—	—
	2012	48	14.6	—	—	—	**14.6**	—	—	—	—
	2013	50	20	—	—	—	—	—	6	6	8 [*S.sp.*]
	2014	50	2	2	—	—	—	—	—	—	—
	2015	75	18.7	2.7	—	1.3	5.3	9.3	—	—	—
	2016	30	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	2017	126	1.3	—	—	—	—	1.3	—	—	—
	2018	80	25	—	—	**15**	—	10	—	—	—
Iб стационарная линия № 2 (лесная): березово-сосновый с елью кустарничковый лес вдоль литорали	2008	50	24	—	—	2	—	**22**	—	—	—
	2010	20	5	—	—	—	—	5	—	—	—
	2011	50	24	—	—	2	—	**22**	—	—	—
	2012	48	14.6	—	—	—	**10.4**	4.2	—	—	—
	2013	50	10	—	—	—	—	—	4	2	4 [*S.sp.*]
	2014	50	26	2	—	**14**	2	8	—	—	—
	2015	50	**40**	—	—	8	**10**	**16**	—	—	6 [*S.sp.*]
	2016	30	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	2017	50	2	—	—	—	—	2	—	—	—
	2018	65	14.5	—	—	5	—	9.5	—	—	—
II леса и болота вдоль старой лесовозной дороги в Кандалакшу: а – сосновый зеленомошный лес	2012	50	10	—	—	8	2	—	—	—	—
б – елово-сосновый кустарничково-зеленомошный с каменистыми россыпями	2013	50	2	—	—	2	—	—	—	—	—
	2014	100	4	1	—	2	—	—	—	—	1 [*Cl.sp.*]
	2015	40	5	—	—	—	2.5	2.5	—	—	—
	2016	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2017	84	2.4	—	—	—	—	2.4	—	—	—

Продолжение таблицы.

Территория и местообитания	Год	Объем учетов	Численность, ос. / 100 лов.-сут.								
			Общая	***M. oec.***	***M. agr.***	***Cl. glar.***	***Cl. ruf.***	***S. ar.***	***S. caec.***	***S. min.***	**Другие**
в – сосново-березовый брусничный зеленомошный лес	2018	50	16	—	—	—	**14**	2	—	—	—
е – вахтово-осоковое верховое болото с сосной, можжевельником и карликовой березкой	2017	40	0	—	—	—	—	—	—	—	—
ж – экотон соснового кустарничкового леса и верхового болота	2017	40	0	—	—	—	—	—	—	—	—
VII о. Ряшков* – различные стации (сосновые и еловые леса, приморские луга)	2008, 2010	800/800	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	2011	600/400	0.3/1.5	—	0.3/0.25	0/0.75	—	0/0.5	—	—	—
	2012; 2014 (весна)	1000/500	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	2015	500/400	0.4/0.5	0/0.25	—	0.4/0.25	—	—	—	—	—
	2016	500/500	0	—	—	—	—	—	—	—	—
VIII Карельский берег* – различные стации (сосновые и еловые леса, приморские луга)	2008 (осень)	400	0.75	—	—	0.5	0.25	—	—	—	—
	2010 (осень)	400	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	2011 (осень)	400	3.75	—	0.25	1	**2.5**	—	—	—	—
	2012	300/400	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	2015 (осень)	300	6.3	0.3	—	—	**5.7**	0.3	—	—	—

Примечания к таблице: в числителе – весенние учеты, в знаменателе – осенние. **Notes to table:** numerator – spring censuses, denominator – autumn censuses.

Фото. Типичные местообитания красно-серой полевки – елово-сосновый кустарничково-зеленомошный лес с каменистыми россыпями (фото А.С. Оботурова). **Photo.** Typical biotope of grey red-backed vole – spruce and pine prostrate shrub and green moss forest with stone runs (photo by A.S. Oboturov).

В то же время 11 мертвых зверьков во время пика численности 2012 года были найдены в окрестностях с. Колвица (14 км от кордона) в сосновом зеленомошном лесу и 2 – в предгорном сосновом чернично-зеленомошном лесу по грунтовой дороге из с. Лувеньга в Лувеньгские Тундры. Еще несколько леммингов были добыты методом ловушко-линий: в поясе горных тундр и в экотоне ивово-березового криволесья и ельника-зеленомошника (горнотаежный пояс; Емельянова, Оботуров, 2017).

Исследование динамики изменения численности выявило, что экотонное сообщество (I) мелких млекопитающих подвержено резким колебаниям численности в сравнении с

березово-сосновым лесом вдоль литорали (II). Межгодовые изменения численности могут достигать 1800%. На о. Ряшков изменения численности более плавные – до 350%.

Остров Ряшков и Карельский берег. Эти сообщества менее населенные, чем сообщества Лувеньгского участка, а максимальная численность достигает 6.3 ос./100 лов.-сут. Здесь чаще, чем на полуострове, наблюдаются депрессии с нулевой численностью, при большем объеме учетов – до 400 лов.-сут. за сезон. В 2010, 2012, 2014 годах наблюдалась нулевая численность, в 2011 и 2015 гг. – небольшие пики.

На о. Ряшков в сообществах с незначительным превышением доминирует рыжая полевка. Красно-серая полевка, по данным летописей природы, не отмечена. Однако на Карельском берегу она доминирует повсеместно.

Выводы

По результатам многолетнего мониторинга численности мелких млекопитающих (Soricidae, Rodentia) на двух ключевых участках побережья Кандалакшского залива Белого моря выявлено, что северотаежные сообщества мелких млекопитающих в основном монодоминантные и обычно включают 2-4 вида. Динамика численности резко выражена, с выдающимися пиками и глубокими депрессиями.

На Лувеньгском участке методом ловушко-линий учтены 7 видов: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *M. agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, *C. (Myodes) rufocanus*, ***Sorex araneus (вид-доминант)***, *S. caecutiens* и *S. minutus*. На о. Ряшков – 4 вида: *M. (Al.) oeconomus*, *M. agrestis*, ***Cl. (M.) glareolus (вид-доминант)*** и *S. araneus*; на Карельском берегу – 5 видов: *M. (Al.) oeconomus*, *M. agrestis*, *Cl. (M.) glareolus*, ***Cl. (M.) rufocanus (вид-доминант)*** и *S. araneus.*

В окрестностях Лувеньгского участка Кандалакшского заповедника высокая численность отмечена в кустарничковой березово-сосновом лесу с елью и его экотоне – клеверово-злаковом лугу на литорали. Наибольшее видовое разнообразие установлено в экотоне березово-соснового с елью кустарничкового леса и клеверово-злакового луга на литорали. Здесь в различные годы отмечали высокую численность трех видов: обыкновенной бурозубки – 44 ос./100 лов.-сут., рыжей полевки – 15 ос./100 лов.-сут., красно-серой полевки – 14.6 ос./100 лов.-сут.

Сообщества о. Ряшков и Карельского берега менее населенные, чем Лувеньгского участка: максимальная численность достигает 6.3 ос./100 лов.-сут. и 54 ос./100 лов.-сут. соответственно. Здесь чаще, чем на полуострове, наблюдаются депрессии с нулевой численностью, при большом объеме учетов – до 400 лов.-сут. за сезон. На Лувеньгском участке отмечены пики численности в 2011, 2015 и 2018 гг., депрессии – в 2016 и 2017 гг. На о. Ряшков и Карельском берегу слабовыраженные пики наблюдали в 2011 и 2015 гг., депрессии – в 2010, 2012 и 2014 гг.

Различается также видовой состав между ключевыми участками. Многочисленный и широко распространенный вид в сообществах Лувеньгского кордона – обыкновенная бурозубка, отмеченная почти в половине местообитаний, охваченных учетами. На о. Ряшков при относительно низкой численности виды распределены равномерно. Численность рыжей полевки незначительно выше остальных (разница не превышает 0.5-0.1 ос./100 лов.-сут.). В сообществах острова не отмечена красно-серая полевка, тогда как на Карельском берегу она доминирует во всех сообществах.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю признательность за неоценимую постоянную помощь в организации мониторинговых исследований сотрудникам Кандалакшского заповедника – заместителю директора по научной работе Е.Л. Толмачевой и ведущему научному сотруднику Е.В. Шутовой.

Финансирование. Работа выполнена по теме госзадания МГУ № 121051100137-4 «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды», а также теме госзадания ИВП РАН № FMWZ-2022-0001 «Исследования процессов

гидрологического цикла суши и формирования водных ресурсов, геофизических процессов в водных объектах и их бассейнах, формирования экстремальных гидрологических явлений и динамики гидрологических систем с учетом изменяющихся климатических условий и антропогенных факторов».

.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Мурманской области. 1971. М.: ГУГК при Совете министров СССР. 33 с.
2. Биомы России. 2018. Карта. Масштаб 1:7 500 000. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. 1 л.
3. *Бойко Н.С.* 1984а. Мышевидные грызуны островов и побережий Кандалакшского залива и динамика их численности // Мелкие млекопитающие заповедных территорий. М.: Главное управление охотничьего хозяйства и заповедников при СМ РСФСР. С. 5-24.
4. *Бойко Н.С.* 1984б. Видовой состав и динамика численности мышевидных грызунов в районе Кандалакшского залива // Проблемы охраны природы в бассейне Белого моря. Мурманск: Книжное издательство. С. 21-27.
5. *Бойко Н.С.* 2008. Кандалакшский залив: Общие результаты учетов млекопитающих // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2007 год (ежегодный отчет) / Ред. А.С. Корякин. Кандалакша. Кн. 53. Т. 3. С. 344-352.
6. *Бойко Н.С.* 2009. Кандалакшский залив: Общие результаты учетов млекопитающих // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2008 год (ежегодный отчет) / Ред. А.С. Корякин. Кандалакша. Кн. 54. Т. 3. Ч. 2. С. 409-419.
7. *Бойко Н.С.* 2011. Общие результаты учетов млекопитающих, Кандалакшский залив, 2010 г. // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2010 год (ежегодный отчет) / Ред. А.С. Корякин. Кандалакша. Кн. 56. Т. 3. Ч. 2. С. 178-189.

REFERENCES

1. Atlas of Murmansk oblast [*Atlas Murmanskoj oblasti*]. Moscow: GUGK pri Sovete ministrov SSSR, 1971:33.
2. Biomes of Russia [*Biomy Rossii*] *Map,* Scale 1:7 500 000 *[Karta]*. 2nd ed., revised and suppl. Moscow, 2018:1.
3. Boyko NS. Mouse-like rodents of the islands and coasts of the Kandalaksha Bay and the dynamics of their numbers [*Myshevidnye gryzuny ostrovov i poberezhij Kandalakshskogo zaliva i dinamika ih chislennosti*] *Small mammals of protected areas [Melkie mlekopitayushchie zapovednyh territorij]*. Moscow, 1984a:5-24.
4. Boyko NS. Species composition and population dynamics of mouselike rodents in the Kandalaksha Bay area [*Vidovoj sostav i dinamika chislennosti myshevidnyh gryzunov v rajone Kandalakshskogo zaliva*] *Problems of nature conservation in the White Sea basin [Problemy ohrany prirody v bassejne Belogo morya]*. Murmansk: Knizhnoye izdatel'stvo, 1984b:21-27.
5. Boyko NS. Kandalaksha Bay: General results of mammal surveys, Book 53 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kniga 53*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2007 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2007 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. A.S. Koryakin. Kandalaksha, 2008;3:344-352.
6. Boyko NS. Kandalaksha Bay: General results of mammal surveys, Book 54 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kniga 54*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2008 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2008 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. A.S. Koryakin. Kandalaksha, 2009;3 (2):409-419.
7. Boyko NS. General results of mammal surveys, Kandalaksha Bay, 2010, Book 56 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kandalakshskiy zaliv, 2010 g., Kniga 56*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2010 (annual report) [Letopis'*

8. *Бойко Н.С.* 2012. Общие результаты учетов млекопитающих, Кандалакшский залив, 2011 г. // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2011 год (ежегодный отчет) / Ред. А.С. Корякин. Кандалакша. Кн. 57. Т. 3. Ч. 2. С. 195-206.
9. *Бойко Н.С.* 2013. Общие результаты учетов млекопитающих, Кандалакшский залив, 2012 г. // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2012 год (ежегодный отчет) / Ред. А.С. Корякин. Кандалакша. Кн. 58. Т. 3. Ч. 2. С. 202-211.
10. *Бойко Н.С.* 2015. Общие результаты учетов млекопитающих, Кандалакшский залив, 2014 г. // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2014 год (ежегодный отчет) / Ред. Е.Л. Толмачева. Кандалакша. Кн. 60. Т. 3. Ч. 2. С. 178-189.
11. *Бойко Н.С.* 2016. Общие результаты учетов млекопитающих, Кандалакшский залив, 2015 г. // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2015 год (ежегодный отчет) / Ред. Е.Л. Толмачева. Кандалакша. Кн. 61. Т. 3. Ч. 2. С. 248-258.
12. *Бойко Н.С.* 2017. Общие результаты учетов млекопитающих, Кандалакшский залив, 2016 г. // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2016 год (ежегодный отчет) / Ред. Е.Л. Толмачева. Кандалакша. Кн. 62. Т. 3. Ч. 2. С. 178-189.
13. *Емельянова Л.Г., Оботуров А.С.* 2017. Пространственно-временная структура цикла динамики численности норвежского лемминга (*Lemmus lemmus* L.) в Фенноскандии // Arctic Environmental Research. Т. 17. № 4. С. 321-335.
14. *Емельянова Л.Г., Оботуров А.С.* 2024. Место зоологических кадастрово-справочных карт в биомной концепции // Аридные экосистемы. Т.

prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2010 god (ezhegodnyj otchet)] / ed. A.S. Koryakin. Kandalaksha, 2011;3 (2);178-189.
8. Boyko NS. General results of mammal surveys, Kandalaksha Bay, 2011, Book 57 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kandalakshskiy zaliv, 2011 g., Kniga 57*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2011 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2011 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. A.S. Koryakin. Kandalaksha, 2012;3 (2):195-206.
9. Boyko NS. General results of mammal surveys, Kandalaksha Bay, 2012, Book 58 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kandalakshskiy zaliv, 2012 g., Kniga 58*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2012 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2012 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. A.S. Koryakin. Kandalaksha, 2013;3 (2):202-211.
10. Boyko NS. General results of mammal surveys, Kandalaksha Bay, 2014, Book 60 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kandalakshskiy zaliv, 2014 g., Kniga 60*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2014 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2014 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. E.L. Tolmacheva. Kandalaksha, 2015;3 (2):178-189.
11. Boyko NS. General results of mammal surveys, Kandalaksha Bay, 2015, Book 61 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kandalakshskiy zaliv, 2015 g., Kniga 61*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2015 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2015 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. E.L. Tolmacheva. Kandalaksha, 2016;3 (2):248-258.
12. Boyko NS. General results of mammal surveys, Kandalaksha Bay, 2016, Book 60 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kandalakshskiy zaliv, 2016, Kniga 60*] *Chronicle of the nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2016 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2016 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. E.L. Tolmacheva. Kandalaksha, 2017;3 (2):178-189.
13. Emelyanova LG, Oboturov AS. The spatio-temporal structure of the population dynamics of the Norwegian lemming (Lemmus

30. № 3 (100). С. 81-90. [*Emelyanova L.G., Oboturov A.S.* 2024. Place of Zoological Cadastral Reference Maps in the Biome Concept // Arid Ecosystems. Vol. 14. No. 3. P. 324-332.]
15. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий. 1999. Карта на 2 листах; пояснительный текст и легенда к карте. Масштаб 1:8 000 000 / Ред. Г.Н. Огуреева. М.: ЭКОР. 2 л.
16. *Кошкина Т.В.* 1953. Сравнительная экология рыжих полевок в северной тайге. Дис. ... канд. биол. наук. М. 212 с.
17. *Кошкина Т.В.* 1974. Популяционная регуляция численности у грызунов. Автореф. дис. … докт. биол. наук. Свердловск. 59 с.
18. *Нестеренко В.А.* 2023. Таксоцены. Владивосток: ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН. 212 с.
19. Catalogue of Life. 2024 [Электронный ресурс https://www.catalogueoflife.org (дата обращения 07.09.2024)].
20. *Chodorowski A.* 1959. Ecological Differentiation of Turbellarians in Harsz-Lake // Polskie Archivum Hydrobiologil. Vol. 6. No. 3. P. 33-73.
21. *Hutchinson G.E.* 1967. A Treatise on Limnology. N.Y., L. and Sydney: Wiley & Sons. 1115 p.

lemmus L.) in Fennoscandia [Prostranstvenno-vremennaya struktura cikla dinamiki chislennosti norvezhskogo lemminga (Lemmus lemmus L.) v Fennoskandii]. *Arctic Environmental Research.* 2017;17 (4):321-335.
14. Emelyanova LG, Oboturov AS. Place of Zoological Cadastral Reference Maps in the Biome Concept. *Arid Ecosystems.* 2024;14 (3):324-332.
15. Zones and altitudinal zonality types of vegetation of Russia and adjacent territories [*Zony i tipy poyasnosti rastitel'nosti Rossii i sopredel'nykh territoriy*] *Map on 2 sheets; explanatory text and legend to the map,* Scale 1:8 000 000 *[Karta na 2 listakh; poyasnitel'nyy tekst i legenda k karte]* / ed. G.N. Ogureeva. Moscow: EKOR, 1999:2.
16. Koshkina TV. Comparative ecology of bank voles in the northern taiga [*Sravnitel'naya ekologiya ryzhih polevok v severnoj tajge*] *PhD Thesis.* Moscow, 1953:212.
17. Koshkina TV. Population regulation in rodents [*Populyacionnaya regulyaciya chislennosti u gryzunov*] *Abstract of PhD Thesis.* Sverdlovsk, 1974:59.
18. Nesterenko VA. Taxocene [*Taksotseni*]. Vladivostok: FNTS Bioraznoobraziya DVO RAN, 1977;5:50-55.
19. Catalogue of Life. 2024, Available at https://www.catalogueoflife.org (Date of Access 07/09/2024).
20. Chodorowski A. Ecological differentiation of turbellarians in Harsz-Lake. *Polskie Archivum Hydrobiologil.* 1959;6 (3):33-73.
21. Hutchinson GE. A treatise on Limnology. N.Y., L. and Sydney: Wiley & Sons, 1967:1115.

UDC 574.9; 575.858

SPECIES STRUCTURE OF MICROMAMMALS COMMUNITIES (*SORICIDAE, RODENTIA*) IN THE SOUTHERN PART OF THE KOLA PENINSULA

© 2024. L.G. Emelyanova*, A.S.Oboturov**

**M.V. Lomonosov Moscow State University*
1 Leninskiye Gory, 119991, Moscow, Russia. E-mail: biosever@yandex.ru
***Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences*
3, Gubkina Str., 119333, Moscow, Russia. E-mail: phantom-91_91@mail.ru

Received Februar 18, 2021. Revised Februar 28, 2021. Accepted March 01, 2022.

In this article we have summarized the data of the long-term research (2008-2018) of micromammals (Soricidae, Rodentia) in the southern part of the Kola Peninsula in the 2 key areas, the Luvengsky

cluster of the Kandalaksha Reserve, and Ryashkov Island with adjacent part of the Karelian coast. We used the trap-line method that helped us to identify 7 species in the Luvengsky cluster: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *Microtus agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, *Clethrionomys (Myodes) rufocanus*, *Sorex araneus*, *Sorex caecutiens*, and *Sorex minutus.* On Ryashkov Island, there were 4 species: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *Microtus agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, and *Sorex araneus*; and 5 more species on the Karelian coast: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *Microtus agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, *Clethrionomys (Myodes) rufocanus*, and *Sorex araneus*. During the 11 years of research, we registered population peaks of micromammals in 2011, 2015 and 2018, and depressions in 2016 and 2017 in the Luvengsky cluster. Low peaks on Ryashkov Island and the Karelian coast were observed in 2011 and 2015, and depressions in 2010, 2012 and 2014.

The most populated habitats were marked for each of the taxocene species of mouse-like rodents and insectivores. It was revealed that the communities in the south of the Kola Peninsula were usually formed by 2 to 4 species, with either one dominant or two that were replacing each other in different years. In the Luvenga cluster, the highest species diversity was registered in the ecotone of birch-pine prostrate shrub forest with spruce and clover-grass meadows on the littoral (on the ecotone line of traps). There was a high abundance of 3 species: *S. araneus* (44 ind. per 100 trap-nights), *C. (Myodes) glareolus* (15 ind. per 100 trap-nights), *C. (Myodes) rufocanus* (14.6 ind. per 100 trap-nights). The dominant in those communities were *S. araneus* (average dominance value – 25.9%) and *C. (Myodes) glareolus* (average dominance value – 14%). Additionally, *C. (Myodes) rufocanus* with an average dominance of 14% had the largest abundance on the ecotone line of traps and in the pine-birch lingonberry green moss forest (14.6 and 14.0 ind. per 100 trap-nights, respectively). The abundance of small mammals was significantly lower in communities of Ryashkov Island and the Karelian coast compared to that of the Luvenga cluster. *C. (Myodes) glareolus* was a little more dominant there, while *C. (Myodes) rufocanus* was absent on the island. At the same time, *C. (Myodes) rufocanus* dominated everywhere on the Karelian coast (up to 5.7 ind. per 100 trap-nights, with the total population of 6.3 ind. per 100 trap-nights). The least common species in the south communities of the Kola Peninsula were *Microtus (Alexandromys) oeconomus* and *M. agrestis*; the former had a small abundance, but was found in all key areas (2.7 ind. per 100 trap-nights), while the latter was recorded in 2008 in the Luvenga cluster (3 ind. per 100 trap-nights on the ecotone line), and in 2011 on Ryashkov Island and the Karelian coast. Further research is required to accurately determine presence or absence of *M. agrestis* in communities. Lemmings were not registered in the communities of the Luvenga cluster at all. *M. schisticolor* was found in 2012, 5 km from the key area in a mountain taiga spruce blueberry-crowberry green moss forest with birch and rowan (2.9 ind. per 100 trap-nights).

Dead individuals of *Lemmus lemmus* were found in 2012 when its population peaked: 11 were in a pine forest near Kolvitsa Village (14 km from the key area), and 2 more were in a foothill pine blueberry and green moss forest, along the country road from Luvenga Village to the Luvenga Tundra mountains. At that time, the abundance of *Lemmus lemmus* in the communities of the Luvenga Tundra reached 2.0-2.2 ind. per 100 trap-nights.

Funding. This work was carried out as part of the state task No. 121051100137-4 “Spatio-temporal Organization of Ecosystems under Environmental Changes” (M.V. Lomonosov Moscow State University), as well as for the state task of Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, theme No. FMWZ-2022-0001 “Studies of the Processes of Land Hydrological Cycle and Water Resources Formation, Geophysical Processes in Water Bodies and Their Basins, Formation of Extreme Hydrological Phenomena and Dynamics of Hydrological Systems under the Changing Climate and Anthropogenic Factors”.

Keywords: small mammals communities, northern taiga, theriofauna, Kandalaksha Nature Reserve, abundance, dominance index.

DOI: 10.24412/2542-2006-2024-3-81-91

EDN: PQWXKI

ECOSYSTEMS: ECOLOGY AND DYNAMICS, 2024, Vol. 8, No. 3, p. 92-102

STRUCTURAL ORGANIZATION OF ECOSYSTEMS AND PATTERNS OF THEIR DISTRIBUTION

UDC 528.9:574.9

SPECIES STRUCTURE OF MICROMAMMALS COMMUNITIES (*SORICIDAE, RODENTIA*) IN THE SOUTHERN PART OF THE KOLA PENINSULA

© 2024. L.G. Emelyanova*, A.S. Oboturov**

**M.V. Lomonosov Moscow State University*
1 Leninskiye Gory, 119991, Moscow, Russia. E-mail: biosever@yandex.ru
***Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences*
3, Gubkina Str., 119333, Moscow, Russia. E-mail: phantom-91_91@mail.ru

Received Februar 18, 2021. Revised Februar 28, 2021. Accepted March 01, 2022.

In this article, we have summarized the data of the long-term research (2008-2018) of micromammals (Soricidae, Rodentia) in the southern part of the Kola Peninsula in the 2 key areas, the Luvenga cluster of the Kandalaksha Nature Reserve, and Ryashkov Island with adjacent part of the Karelian coast. We used the trap-line method that helped us to identify 7 species in the Luvenga cluster: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *Microtus agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, *Clethrionomys (Myodes) rufocanus*, *Sorex araneus*, *Sorex caecutiens*, and *Sorex minutus.* On Ryashkov Island, there were 4 species: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *Microtus agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, and *Sorex araneus*; and 5 more species on the Karelian coast: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *Microtus agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, *Clethrionomys (Myodes) rufocanus*, and *Sorex araneus*. During the 11 years of research, we registered population peaks of micromammals in 2011, 2015 and 2018, and depressions in 2016 and 2017 in the Luvenga cluster. Low peaks on Ryashkov Island and the Karelian coast were observed in 2011 and 2015, and depressions in 2010, 2012 and 2014.

The most populated habitats were marked for each of the taxocene species of mouse-like rodents and insectivores. It was revealed that the communities in the south of the Kola Peninsula were usually formed by 2 to 4 species, with either one dominant or two that were replacing each other in different years. In the Luvenga cluster, the highest species diversity was registered in the ecotone of birch-pine dwarf shrub forest with spruce and clover-grass meadows on the littoral (on the ecotone line of traps). There was a high abundance of 3 species: *S. araneus* (44 ind. per 100 trap-nights), *C. (Myodes) glareolus* (15 ind. per 100 trap-nights), *C. (Myodes) rufocanus* (14.6 ind. per 100 trap-nights). The dominant in those communities were *S. araneus* (average dominance value – 25.9%) and *C. (Myodes) glareolus* (average dominance value – 14%). Additionally, *C. (Myodes) rufocanus* with an average dominance of 14% had the largest abundance on the ecotone line of traps and in the pine-birch lingonberry green moss forest (14.6 and 14.0 ind. per 100 trap-nights, respectively). The abundance of micromammals was significantly lower in communities of Ryashkov Island and the Karelian coast compared to that of the Luvenga cluster. *C. (Myodes) glareolus* was a little more dominant there, while *C. (Myodes) rufocanus* was absent on the island. At the same time, *C. (Myodes) rufocanus* dominated everywhere on the Karelian coast (up to 5.7 ind. per 100 trap-nights, with the total population of 6.3 ind. per 100 trap-nights). The least common species in the south communities of the Kola Peninsula were *Microtus (Alexandromys) oeconomus* and *M. agrestis*; the former had a small abundance, but was found in all key areas (2.7 ind. per 100 trap-nights), while the latter was recorded in 2008 in the Luvenga cluster (3 ind. per 100 trap-nights on the ecotone line), and in 2011 on Ryashkov Island and the Karelian coast. Further research is required to accurately determine presence or absence of *M. agrestis* in communities. Lemmings were not registered in the communities of the Luvenga cluster at all. *M. schisticolor* was found in 2012, 5 km from the key area in a mountain taiga spruce blueberry-crowberry green moss forest with birch and rowan (2.9 ind. per 100 trap-nights).

Dead individuals of *Lemmus lemmus* were found in 2012 when its population peaked: 11 were in a pine forest near Kolvitsa Village (14 km from the key area), and 2 more were in a foothill pine blueberry and green moss forest, along the country road from Luvenga Village to the Luvenga Tundra mountains. At that time, the abundance of *Lemmus lemmus* in the communities of the Luvenga Tundra reached 2.0-2.2 ind. per 100 trap-nights.
Keywords: micromammals communities, northern taiga, theriofauna, Kandalaksha Nature Reserve, abundance, dominance index.
DOI: 10.24412/2542-2006-2024-3-92-102
EDN: RADOTK

In order to further develop the biome concept and specify the boundaries of regional biomes, it is necessary to eliminate blind spots, i.e. the territories with poorly studied biota, or not studied at all (Emelyanova, Oboturov, 2024). Among such understudied geozoological regions, there is the southern part of the Kola Peninsula that belongs to the Kola-Karelian hypoarctic-taiga lowland biome. Therefore, the results of long-term mammalogical and geographic studies are particularly important, because they help to sufficiently identify the fauna of different biotopes and the state of abundance of the species living in them.

Abundance censuses of the micromammals such as *Soricidae* and *Rodentia* were carried out in 2 key areas: 1) Luvenga cluster of Kandalaksha Nature Reserve, 2) Ryashkov Island with adjacent part of the Karelian coast. From 1952 to 1960, T.V. Koshkina was the one to study the ecology and abundance dynamics of the micromammals in Kandalaksha Nature Reserve. From 1965, this work was continued by N.S. Boyko. Stationary trap-lines were set on the Karelian coast of the Kandalaksha Bay across Kurichek and Ryashkov islands (Boyko, 1984a, b; Koshkina, 1953, 1974). Since 2008, we, the authors of this article, continue the abundance censuses on the Luvenga Station of the reserve and the adjacent territory, 15 and 12 km from the reserve stationary lines. The study region is located in the north taiga (Zones and altitudinal zonality types …, 1999), in the Kola-Karelian hypoarctic-taiga taiga biome (Biomes of Russia, 2018). The Luvenga cluster covers the area of north taiga littoral plains, while Ryashkov Island and the Karelian coast cover the area of north taiga on the hills known as “varakas” in Russian, the denudation and denudation-tectonic low rocky ridges with a thick but discontinuous layer of Quaternary sediments (Atlas of Murmansk Oblast …, 1971).

The aim of this paper is to identify the structure and abundance dynamics of *Eulipotyphla* and *Rodentia* taxa in the Luvenga cluster of Kandalaksha Nature Reserve, Ryashkov Island and the Karelian coast.

Materials and Methods

Taxocene is a biosystem of closely related species associated with a certain type of biogeocoenosis (Chodorowski, 1959; Hutchinson, 1967; Николаев, 1977). In the Luvenga key area, there are 2 taxocenes:

1) small *Rodentia* represented by 5 species of: tundra vole (*Microtus (Alexandromys) oeconomus*)[1], short-tailed field vole (*M. agrestis*), bank vole (*Clethrionomys (Myodes) glareolus*), grey red-backed vole (*C. (Myodes) rufocanus*), and wood lemming (*Myopus schisticolor*);

2) *Eulipotyphla* represented by 4 species: common shrew (*Sorex araneus*), Laxmann’s shrew (*S. caecutiens*), Eurasian pygmy shrew (*S. minutus*), Eurasian water shrew (*Neomys fodiens*), and wood lemming (*Myopus schisticolor*).

Two of these species (*N. fodiens*, *M. schisticolor*) were registered during the studied period only with the help of trench traps.

[1] Latin names of animal species are given according to “Catalogue of Life” (2024).

For the Luvenga cluster and the adjacent territory, the data on fauna and micromammals population were collected in July-August (but in September in 2013) using a standard method of trap-lines that were set every 5 m from each other. Most of the lines were set for 2 days, but some were out only for 1 day, and some for 3 in a row.

Both On Ryashkov Island and the Karelian coast (Kandalaksha Reserve), 1 line with 100 traps was set for a few days in May and then in August-September. The lines stretched through various types of habitats, such as pine and spruce forests, and littoral meadows (Boyko, 2008, 2009, 2011-2013, 2015-2017).

In the Luvenga cluster and on some other island of the reserve the census was carried out with the help of trench traps and their modifications (that are not described in this paper).

Results and Discussion

The Luvenga Cluster and Adjacent Territory. At this key site, the communities of micromammal are mostly monodominant, with 2 to 4 species (Table). In 2016 and 2017, their populations experienced a noticeable depression: in 2016, no micromammals were caught at all, while in 2017, their number were very low in all habitats – only up to 2.6 individuals per 100 trap-days in spruce-pine shrub-green moss forest with stone runs. Their abundance reached its maximum in 2011 – 54 ind./100 trap-days in the ecotone of birch-pine dwarf shrub forest with spruce and clover-grass meadow on the littoral. Their abundance also peaked in 2015 and 2018.

In the communities of the Luvenga cluster the common shrew (*Sorex araneus*) is the most abundant species with the average dominance index of 25.9%. It was found in half of the studied habitats, but its abundance peaked in the ecotone of birch-pine dwarf shrub forest with spruce and on the clover-grass meadow on the littoral (ecotone line) – 44 ind./100 trap-days.

Meanwhile, the Laxmann's shrew and Eurasian pygmy shrew (*S. caecutiens*, *S. minutus*) are sparse in the said communities, with their maximum reaching 6 ind./100 trap-days (ecotone line).

Myodes sp. were found in 1/3 of the studied habitats, with the average dominance index of around 14%. The maximum abundance of the bank vole (*Clethrionomys (Myodes) glareolus*) was 15 ind./100 trap-days (ecotone line). The grey red-backed vole (*C. (Myodes) rufocanus*) was also abundant in the ecotone of birch-pine dwarf shrub forest with spruce, clover-grass meadow on the littoral and pine-birch lingonberry-green moss forest with 14.6 and 14.0 ind/100 trap-days respectively (Photo).

The tundra vole (*Microtus (Alexandromys) oeconomus*) was sparse as well, with the average dominance index of 4.9% (as shown by the trap-lines). Its abundance reached 2.7 ind./10 trap-days (ecotone line).

Dominance index and abundance of the short-tailed field vole (*M. agrestis*) is similar to those of the tundra vole. It was found in 9% of the studied habitats, with the dominance index of 3.7%.

There were no encounters of the wood lemming (*Myopus schisticolor*) in the Luvenga key area. The closest encounter took place in 2012, 5 km away from the area, in a spruce with birch and rowan blueberry-crowberry green moss forest on the Luvenga Tundras Mountain. There were no encounters of the Norway lemming (*Lemmus lemmus*) in the Luvenga cluster either.

However, during the abundance peak in 2012, 11 dead lemmings were found near Kolvitsa Village (14 km from the cordon), in a pine green moss forest, and 2 more in the foothill pine-blackberry-green moss forest on the dirt road from Luvenga Village to the Luvenga Tundras Mountain. Several more lemmings were captured with the trap-line method in the mountain tundra belt and the ecotone of willow-birch elfinwood forest and spruce-green moss forest in the mountain taiga belt (Emelyanova, Oboturov, 2017).

Table. Communities of micromammals near Luvenga and the islands of Kandalaksha Bay.

Area and habitats	Year	Trap-days	Abundance, ind./100 trap-days								
			Total	***M. oec.***	***M. agr.***	***Cl. glar.***	***Cl. ruf.***	***S. ar.***	***S. caec.***	***S. min.***	**Other**
Luvenga Station Ia Stationary line No. 1 (ecotone line): ecotone of birch-pine dwarf shrub forest with spruce and clover-grass meadow on the littoral	2008	100	7	1	3	—	—	3	—	—	—
	2010	20	20	—	—	—	—	**20**	—	—	—
	2011	50	**54**	2	—	8	—	**44**	—	—	—
	2012	48	14.6	—	—	—	**14.6**	—	—	—	—
	2013	50	20	—	—	—	—	—	6	6	8 [*S.* sp.]
	2014	50	2	2	—	—	—	—	—	—	—
	2015	75	18.7	2.7	—	1.3	5.3	9.3	—	—	—
	2016	30	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	2017	126	1.3	—	—	—	—	1.3	—	—	—
	2018	80	25	—	—	**15**	—	10	—	—	—
Ib Stationary line No. 2 (forest line): birch-pine dwarf shrub forest with spruce along the littoral	2008	50	24	—	—	2	—	**22**	—	—	—
	2010	20	5	—	—	—	—	5	—	—	—
	2011	50	24	—	—	2	—	**22**	—	—	—
	2012	48	14.6	—	—	—	**10.4**	4.2	—	—	—
	2013	50	10	—	—	—	—	—	4	2	4 [*S.* sp.]
	2014	50	26	2	—	**14**	2	8	—	—	—
	2015	50	**40**	—	—	8	**10**	**16**	—	—	6 [*S.* sp.]
	2016	30	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	2017	50	2	—	—	—	—	2	—	—	—
	2018	65	14.5	—	—	5	—	9.5	—	—	—
II Forests and bogs along the old timber transport road to Kandalaksha Town: a – pine green moss forest	2012	50	10	—	—	8	2	—	—	—	—
b – spruce-pine dwarf shrub-green moss forest with stone runs	2013	50	2	—	—	2	—	—	—	—	—
	2014	100	4	1	—	2	—	—	—	—	1 [*Cl.* sp.]
	2015	40	5	—	—	—	2.5	2.5	—	—	—
	2016	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2017	84	2.4	—	—	—	—	2.4	—	—	—

Continuation of the Table.

Area and habitats	Year	Trap-days	Abundance, ind./100 trap-days								
			Total	*M. oec.*	*M. agr.*	*Cl. glar.*	*Cl. ruf.*	*S. ar.*	*S. caec.*	*S. min.*	Other
c – pine-birch lingonberry green moss forest	2018	50	16	—	—	—	**14**	2	—	—	—
d – *Menyanthes*-sedge raised bog with pine, juniper and dwarf birch	2017	40	0	—	—	—	—	—	—	—	—
e – ecotone of pine dwarf shrub forest and raised bog	2017	40	0	—	—	—	—	—	—	—	—
VII Ryashkov Island – various stations (pine and spruce forests, littoral meadows)	2008, 2010	800/800	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	2011	600/400	0.3/1.5	—	0.3/0.25	0/0.75	—	0/0.5	—	—	—
	2012; 2014 (spring)	1000/500	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	2015	500/400	0.4/0.5	0/0.25	—	0.4/0.25	—	—	—	—	—
	2016	500/500	0	—	—	—	—	—	—	—	—
VIII Karelian coast – various stations (pine and spruce forests, littoral meadows)	2008 (autumn)	400	0.75	—	—	0.5	0.25	—	—	—	—
	2010 (autumn)	400	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	2011 (autumn)	400	3.75	—	0.25	1	**2.5**	—	—	—	—
	2012	300/400	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	2015 (autumn)	300	6.3	0.3	—	—	**5.7**	0.3	—	—	—

Notes to table: numerator – spring censuses, denominator – autumn censuses.

Photo. A typical biotope of grey red-backed vole – spruce-pine dwarf shrub and green moss forest with stone runs (photo by A.S. Oboturov).

The study of population dynamics revealed that the ecotone community (I) of micromammals is subject to sharp fluctuations in abundance compared to the one in birch-pine forest along the littoral (II). Inter-annual changes in abundance can reach 1800%. On Ryashkov Island, changes in abundance were much smoother – up to 350%.

Ryashkov Island and the Karelian Coast. These communities are less abundant compared to those of the Luvenga cluster, with their maximal numbers reaching 6.3 ind./100 trap-days. Additionally, they undergo depressions more often than the peninsula communities, sometimes dropping to zero. During the higher census volume, they can require up to 400 trap-days per season. In 2010, 2012 and 2014 the abundance of micromammals was 0, but it peaked slightly in 2011 and 2015.

On Ryashkov Island, the bank vole is dominant, but only due to its slightly higher numbers compared to other species. According to "Chronicle of Nature" (Boyko, 2008, 2009, 2011-2013, 2015-2017), the grey red-backed vole was not registered at all. However, on the Karelian coast, it is widely dominant.

Conclusions

The results of long-term monitoring of micromammals abundance (*Soricidae*, *Rodentia*) at two key sites of the Kandalaksha Bay of the White Sea revealed that the northern taiga communities are mainly monodominant and usually include 2-4 species. The dynamics of their abundance is clearly noticeable, with visible peaks and depressions.

In the Luvenga key area, the trap-lines helped us to register 7 species: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *M. agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, *C. (Myodes) rufocanus*, ***Sorex araneus (dominant)***, *S. caecutiens*, and *S. minutus*. On Ryashkov Island we registered 4 species: *M. (Al.) oeconomus*, *M. agrestis*, ***Cl. (M.) glareolus (dominant)***, and *S. araneus*; on the adjacent Karelian coast we registered 5 species: *M. (Al.) oeconomus*, *M. agrestis*, *Cl. (M.) glareolus*, ***Cl. (M.) rufocanus (dominant)***, and *S. araneus.*

Around the Luvenga cluster of Kandalaksha Nature Reserve the highest abundance of micromammals was noted in the birch-pine dwarf forest with spruce and its ecotone of clover-grass meadow on the littoral. The highest species diversity was registered in the ecotone of birch-pine dwarf shrub forest with spruce and clover-grass meadow on the littoral. There, over different years, the three species were the most abundant: common shrew – 44 ind./100 trap-days, bank vole – 15 ind./100 trap-days, and grey red-backed vole – 14.6 ind./100 trap-days.

Communities of Ryashkov Island and the adjacent Karelian coast had lower abundance of micromammals compared to the Luvenga cluster: their maximal numbers reached 6.3 and 54 ind./100 trap-days respectively. The population depressions occur there more often than on the peninsula, dropping down to 0, although requiring up to 400 trap-days per season during the higher numbers. In the Luvenga cluster, the peaks were noted in 2011, 2015 and 2018, while the depressions occurred in 2016 and 2017. On Ryashkov Island and the Karelian coast, the slight peaks were in 2011 and 2015, and depressions were in 2010, 2012 and 2014.

The species composition was also different between the key areas. The common shrew was the most abundant and widespread species in the Luvenga Mountains. It was found in almost half of the studied habitats. On Ryashkov Island, the species had a relatively low abundance, but they were distributed equally around the territory. The abundance of the bank vole was insignificantly higher than that of other species (the difference was 0.5-0.1 ind./100 trap-days). The grey red-backed vole was not registered in the island communities, but it was dominant in every community of the the Karelian coast.

Acknowledgements. We would like to thank Deputy Director for Research E.L. Tolmacheva and Leading Researcher E.V. Shutova for their precious and continuous assistance in organization of monitoring activities for the Kandalaksha Nature Reserve employees.

Funding. This work was carried out as part of the state task No. 121051100137-4 "Spatio-temporal Organization of Ecosystems under Environmental Changes" (M.V. Lomonosov Moscow State University), as well as for the state task of Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, theme No. FMWZ-2022-0001 "Studies of the Processes of Land Hydrological Cycle and Water Resources Formation, Geophysical Processes in Water Bodies and Their Basins, Formation of Extreme Hydrological Phenomena and Dynamics of Hydrological Systems under the Changing Climate and Anthropogenic Factors".

REFERENCES REFERENCES

1. Atlas of Murmansk oblast [*Atlas Murmanskoj* 1. Атлас Мурманской области. 1971.

oblasti]. Moscow: GUGK pri Sovete ministrov SSSR, 1971:33.
2. Biomes of Russia [*Biomy Rossii*] *Map,* Scale 1:7 500 000 *[Karta]*. 2nd ed., revised and suppl. Moscow, 2018:1.
3. Boyko NS. Mouse-like rodents of the islands and coasts of the Kandalaksha Bay and the dynamics of their numbers [*Myshevidnye gryzuny ostrovov i poberezhij Kandalakshskogo zaliva i dinamika ih chislennosti*] *Micromammals of protected areas [Melkie mlekopitayushchie zapovednyh territorij]*. Moscow, 1984a:5-24.
4. Boyko NS. Species composition and population dynamics of mouselike rodents in the Kandalaksha Bay area [*Vidovoj sostav i dinamika chislennosti myshevidnyh gryzunov v rajone Kandalakshskogo zaliva*] *Problems of nature conservation in the White Sea basin [Problemy ohrany prirody v bassejne Belogo morya]*. Murmansk: Knizhnoye izdatel'stvo, 1984b:21-27.
5. Boyko NS. Kandalaksha Bay: General results of mammal surveys, Book 53 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kniga 53*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2007 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2007 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. A.S. Koryakin. Kandalaksha, 2008;3:344-352.
6. Boyko NS. Kandalaksha Bay: General results of mammal surveys, Book 54 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kniga 54*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2008 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2008 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. A.S. Koryakin. Kandalaksha, 2009;3 (2):409-419.
7. Boyko NS. General results of mammal surveys, Kandalaksha Bay, 2010, Book 56 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kandalakshskiy zaliv, 2010 g., Kniga 56*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2010 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2010 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. A.S. Koryakin. Kandalaksha, 2011;3 (2);178-189.
8. Boyko NS. General results of mammal surveys, Kandalaksha Bay, 2011, Book 57 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kandalakshskiy zaliv, 2011 g., Kniga 57*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature*

М.: ГУГК при Совете министров СССР. 33 с.
2. Биомы России. 2018. Карта. Масштаб 1:7 500 000. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. 1 л.
3. *Бойко Н.С.* 1984а. Мышевидные грызуны островов и побережий Кандалакшского залива и динамика их численности // Мелкие млекопитающие заповедных территорий. М.: Главное управление охотничьего хозяйства и заповедников при СМ РСФСР. С. 5-24.
4. *Бойко Н.С.* 1984б. Видовой состав и динамика численности мышевидных грызунов в районе Кандалакшского залива // Проблемы охраны природы в бассейне Белого моря. Мурманск: Книжное издательство. С. 21-27.
5. *Бойко Н.С.* 2008. Кандалакшский залив: Общие результаты учетов млекопитающих // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2007 год (ежегодный отчет) / Ред. А.С. Корякин. Кандалакша. Кн. 53. Т. 3. С. 344-352.
6. *Бойко Н.С.* 2009. Кандалакшский залив: Общие результаты учетов млекопитающих // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2008 год (ежегодный отчет) / Ред. А.С. Корякин. Кандалакша. Кн. 54. Т. 3. Ч. 2. С. 409-419.
7. *Бойко Н.С.* 2011. Общие результаты учетов млекопитающих, Кандалакшский залив, 2010 г. // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2010 год (ежегодный отчет) / Ред. А.С. Корякин. Кандалакша. Кн. 56. Т. 3. Ч. 2. С. 178-189.
8. *Бойко Н.С.* 2012. Общие результаты учетов млекопитающих, Кандалакшский залив, 2011 г. // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2011 год (ежегодный отчет) / Ред. А.С. Корякин. Кандалакша. Кн. 57. Т. 3. Ч. 2. С. 195-206.

Reserve in 2011 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2011 god (ezhegodnyj otchet)] / ed. A.S. Koryakin. Kandalaksha, 2012;3 (2):195-206.

9. Boyko NS. General results of mammal surveys, Kandalaksha Bay, 2012, Book 58 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kandalakshskiy zaliv, 2012 g., Kniga 58*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2012 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2012 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. A.S. Koryakin. Kandalaksha, 2013;3 (2):202-211.
10. Boyko NS. General results of mammal surveys, Kandalaksha Bay, 2014, Book 60 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kandalakshskiy zaliv, 2014 g., Kniga 60*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2014 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2014 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. E.L. Tolmacheva. Kandalaksha, 2015;3 (2):178-189.
11. Boyko NS. General results of mammal surveys, Kandalaksha Bay, 2015, Book 61 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kandalakshskiy zaliv, 2015 g., Kniga 61*] *Chronicle of nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2015 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2015 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. E.L. Tolmacheva. Kandalaksha, 2016;3 (2):248-258.
12. Boyko NS. General results of mammal surveys, Kandalaksha Bay, 2016, Book 60 [*Obshchie rezul'taty uchetov mlekopitayushchih, Kandalakshskiy zaliv, 2016, Kniga 60*] *Chronicle of the nature of the Kandalaksha Nature Reserve in 2016 (annual report) [Letopis' prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2016 god (ezhegodnyj otchet)]* / ed. E.L. Tolmacheva. Kandalaksha, 2017;3 (2):178-189.
13. Emelyanova LG, Oboturov AS. The spatio-temporal structure of the population dynamics of the Norwegian lemming (Lemmus lemmus L.) in Fennoscandia [Prostranstvenno-vremennaya struktura cikla dinamiki chislennosti norvezhskogo lemminga (Lemmus lemmus L.) v Fennoskandii]. *Arctic Environmental Research.* 2017;17 (4):321-335.
14. Emelyanova LG, Oboturov AS. Place of Zoological Cadastral Reference Maps in the Biome Concept. *Arid Ecosystems.*

9. *Бойко Н.С.* 2013. Общие результаты учетов млекопитающих, Кандалакшский залив, 2012 г. // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2012 год (ежегодный отчет) / Ред. А.С. Корякин. Кандалакша. Кн. 58. Т. 3. Ч. 2. С. 202-211.
10. *Бойко Н.С.* 2015. Общие результаты учетов млекопитающих, Кандалакшский залив, 2014 г. // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2014 год (ежегодный отчет) / Ред. Е.Л. Толмачева. Кандалакша. Кн. 60. Т. 3. Ч. 2. С. 178-189.
11. *Бойко Н.С.* 2016. Общие результаты учетов млекопитающих, Кандалакшский залив, 2015 г. // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2015 год (ежегодный отчет) / Ред. Е.Л. Толмачева. Кандалакша. Кн. 61. Т. 3. Ч. 2. С. 248-258.
12. *Бойко Н.С.* 2017. Общие результаты учетов млекопитающих, Кандалакшский залив, 2016 г. // Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2016 год (ежегодный отчет) / Ред. Е.Л. Толмачева. Кандалакша. Кн. 62. Т. 3. Ч. 2. С. 178-189.
13. *Емельянова Л.Г., Оботуров А.С.* 2017. Пространственно-временная структура цикла динамики численности норвежского лемминга (*Lemmus lemmus* L.) в Фенноскандии // Arctic Environmental Research. Т. 17. № 4. С. 321-335.
14. *Емельянова Л.Г., Оботуров А.С.* 2024. Место зоологических кадастрово-справочных карт в биомной концепции // Аридные экосистемы. Т. 30. № 3 (100). С. 81-90. [*Emelyanova L.G., Oboturov A.S.* 2024. Place of Zoological Cadastral Reference Maps in the Biome Concept // Arid Ecosystems. Vol. 14. No. 3. P. 324-332.]
15. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий. 1999.

2024;14 (3):324-332.
15. Zones and altitudinal zonality types of vegetation of Russia and adjacent territories [*Zony i tipy poyasnosti rastitel'nosti Rossii i sopredel'nykh territoriy*] *Map on 2 sheets; explanatory text and legend to the map,* Scale 1:8 000 000 *[Karta na 2 listakh; poyasnitel'nyy tekst i legenda k karte]* / ed. G.N. Ogureeva. Moscow: EKOR, 1999:2.
16. Koshkina TV. Comparative ecology of bank voles in the northern taiga [*Sravnitel'naya ekologiya ryzhih polevok v severnoj tajge*] *PhD Thesis.* Moscow, 1953:212.
17. Koshkina TV. Population regulation in rodents [*Populyacionnaya regulyaciya chislennosti u gryzunov*] *Abstract of PhD Thesis.* Sverdlovsk, 1974:59.
18. Nesterenko VA. Taxocene [*Taksotseni*]. Vladivostok: FNTS Bioraznoobraziya DVO RAN, 1977;5:50-55.
19. Catalogue of Life. 2024, Available at https://www.catalogueoflife.org (Date of Access 07/09/2024).
20. Chodorowski A. Ecological differentiation of turbellarians in Harsz-Lake. *Polskie Archivum Hydrobiologil.* 1959;6 (3):33-73.
21. Hutchinson GE. A treatise on Limnology. N.Y., L. and Sydney: Wiley & Sons, 1967:1115.

Карта на 2 листах; пояснительный текст и легенда к карте. Масштаб 1:8 000 000 / Ред. Г.Н. Огуреева. М.: ЭКОР. 2 л.
16. *Кошкина Т.В.* 1953. Сравнительная экология рыжих полевок в северной тайге. Дис. ... канд. биол. наук. М. 212 с.
17. *Кошкина Т.В.* 1974. Популяционная регуляция численности у грызунов. Автореф. дис. … докт. биол. наук. Свердловск. 59 с.
18. *Нестеренко В.А.* 2023. Таксоцены. Владивосток: ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН. 212 с.
19. Catalogue of Life. 2024 [Электронный ресурс https://www.catalogueoflife.org (дата обращения 07.09.2024)].
20. *Chodorowski A.* 1959. Ecological Differentiation of Turbellarians in Harsz-Lake // Polskie Archivum Hydrobiologil. Vol. 6. No. 3. P. 33-73.
21. *Hutchinson G.E.* 1967. A Treatise on Limnology. N.Y., L. and Sydney: Wiley & Sons. 1115 p.

УДК 528.9:574.9

ВИДОВАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ (*SORICIDAE, RODENTIA*) ЮЖНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

© 2024 г. Л.Г. Емельянова*, А.С. Оботуров**

**Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: biosever@yandex.ru
***Институт водных проблем РАН*
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: phantom-91_91@mail.ru

Поступила в редакцию 01.08.2024. После доработки 30.08.2024. Принята к публикации 01.09.2024.

Обобщены результаты многолетних учетов численности мелких млекопитающих (Soricidae, Rodentia) южной части Кольского полуострова на 2 ключевых участках (Лувеньгский участок Кандалакшского заповедника; остров Ряшков и близлежащая часть Карельского берега) с 2008 по 2018 гг. На Лувеньгском участке методом ловушко-линий учтены 7 видов: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *Microtus agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, *Clethrionomys (Myodes) rufocanus*, *Sorex araneus*, *Sorex caecutiens* и *Sorex minutus*. На о. Ряшков учтены 4 вида: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *Microtus agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, *Sorex araneus*; на Карельском берегу – 5 видов: *Microtus (Alexandromys) oeconomus*, *Microtus agrestis*, *Clethrionomys (Myodes) glareolus*, *Clethrionomys (Myodes) rufocanus*, *Sorex araneus.* За 11-летний период наблюдений на Лувеньгском участке отмечены пики численности в 2011, 2015 и 2018

гг., депрессии – в 2016 и 2017 гг. На о. Ряшков и Карельском берегу слабовыраженные пики наблюдали в 2011 и 2015 гг., депрессии – в 2010, 2012 и 2014 гг.

Для каждого из видов таксоценов мышевидных грызунов и насекомоядных отмечены наиболее заселенные местообитания. Выявлено, что сообщества южной части Кольского полуострова обычно 2-4-видовые с одним доминантом или с двумя, сменяющими друг друга в различные годы. На Лувеньгском участке наибольшее видовое разнообразие отмечено в экотоне березово-соснового с елью кустарничкового леса и клеверово-злакового луга на литорали (экотонная линия). В этом местообитании отмечена высокая численность трех видов: *S. araneus* (44 особи на 100 ловушко-суток), *C. (Myodes) glareolus* (15 ос./100 лов.-сут.), *C. (Myodes) rufocanus* (14.6 ос./100 лов.-сут.). В сообществах в основном доминируют *S. araneus* (средний индекс доминирования – 25.9%) и *C. (Myodes) glareolus* (14%). При этом *C. (Myodes) rufocanus* со средним индексом доминирования 14% достигает наибольшей численности на экотонной линии и в сосново-березовом брусничном зеленомошном лесу (14.6 и 14.0 ос./100 лов.-сут. соответственно). В сообществах о. Ряшков и Карельского берега численность мелких млекопитающих значительно ниже, чем на Лувеньгском участке. На о. Ряшков с незначительным превышением доминирует *C. (Myodes) glareolus*, но отсутствует *C. (Myodes) rufocanus.* В то же время на близко расположенном к нему Карельском берегу повсеместно доминирует *C. (Myodes) rufocanus* – до 5.7 ос./100 лов.-сут. при общей численности 6.3 ос./100 лов.-сут.

Наименее распространенные виды в сообществах южной части Кольского полуострова – это *Microtus (Alexandromys) oeconomus* и *M. Agrestis*: первый встречается в учетах на всех ключевых участках с небольшой численностью (2.7 ос./100 лов.-сут.), второй отмечен на Лувеньгском участке в 2008 году (3 ос./100 лов.-сут. на экотонной линии), на о. Ряшков и на Карельском берегу – в 2011 году. Для более точного установления его наличия или отсутствия в сообществах нужны дальнейшие исследования. Лемминги вовсе не отмечены в сообществах Лувеньгского участка. *M. schisticolor* отмечали в 5 км от участка в горнотаежном ельнике с березой и рябиной чернично-вороничном зеленомошном (2.9 ос./100 лов.-сут) в 2012 году.

Погибших норвежских леммингов (*Lemmus lemmus*) находили во время пика численности 2012 года: 11 – в сосновом зеленомошном лесу в окрестностях с. Колвица (14 км от ключевого участка), 2 – в предгорном сосновом черничном зеленомошном лесу по грунтовой дороге из с. Лувеньга в Лувеньгские Тундры. В это время численность *Lemmus lemmus* в сообществах Лувеньгских Тундр достигала 2.0-2.2 ос./100 лов.-сут.

Финансирование. Работа выполнена по теме госзадания МГУ № 121051100137-4 «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды», а также теме госзадания ИВП РАН № FMWZ-2022-0001 «Исследования процессов гидрологического цикла суши и формирования водных ресурсов, геофизических процессов в водных объектах и их бассейнах, формирования экстремальных гидрологических явлений и динамики гидрологических систем с учетом изменяющихся климатических условий и антропогенных факторов».

Ключевые слова: сообщества мелких млекопитающих, северная тайга, териофауна, Кандалакшский заповедник, численность, индекс доминирования.

DOI: 10.24412/2542-2006-2024-3-92-102

EDN: RADOTK