

УДК 631.4; 332.15; 332.3; 332.36

ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ЦЕННОСТИ ПОЧВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА ПРИ РАЗНЫХ ТИПАХ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

**О. В. Толстогузов¹, Н. В. Геникова², И. А. Дубровина³,
А. Ю. Карпечко², Л. М. Кулакова¹, А. В. Мамай², М. В. Медведева²,
Е. В. Мошкина², В. А. Сидорова³, А. В. Туюнен²**

¹ Институт экономики КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

³ Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

Рассматриваются результаты выполнения комплексного проекта РФФИ, объединяющего исследования в области почвоведения, лесоведения, ботаники, экологии, микробиологии и экономики. Исследован вопрос монетизации услуг природы, проблемы и трудности, которые встречаются при интерпретации результатов на основе интеграции естественно-научных и экономических подходов при изучении данной проблемы. Вышеназванная дискуссия актуализирует необходимость создания более совершенного статистического инструмента, чтобы сместить акцент измерения экономических явлений в сторону устойчивого развития. Предлагается система представлений, основанная на модельных (операционных) отношениях между функциональными и структурными признаками почвы и внешними данными, каждое из которых характеризуется определенным набором взаимодействующих процессов. Рассмотрены теоретические и эмпирические предпосылки исследования изменения режима землепользования и баланса углерода в экосистемах. Показаны изменения морфологических, основных агрохимических и микробиологических свойств почв, а также запасов органического углерода и углерода микробной биомассы в метровом слое почв разных землепользований. Проведена оценка общего углеродного бюджета участков разных типов землепользования на генетически близких почвах среднетаежной подзоны европейской территории России. Предложены индикаторы состояния почвенной системы, которые могут быть использованы для экономической оценки изменения землепользования.

Ключевые слова: устойчивое землепользование; деградация почв; углеродный бюджет; системный подход.

**O. V. Tolstoguzov, N. V. Genikova, I. A. Dubrovina, A. Yu. Karpechko,
L. M. Kulakova, A. V. Mamai, M. V. Medvedeva, E. V. Moshkina,
V. A. Sidorova, A. V. Tuunnen. ECONOMIC ANALYSIS OF THE VALUE OF
SOILS IN THE NORTH OF EUROPEAN RUSSIA IN DIFFERENT LAND USE
SCENARIOS**

The article reports the results of a comprehensive RFBR project which combined research in the fields of soil science, forestry, botany, ecology, microbiology, and economics. The question of monetization of ecosystem services and the challenges that occur

when interpreting the results based on the integration of natural sciences and economic approaches in the study of this problem are investigated. This discussion highlights the need for a better statistical tool to shift the focus in measuring economic phenomena to sustainable development. We propose a system of mappings based on model (operational) relationships between functional and structural features of the soil and external data, each of which is characterized by a certain set of interacting processes. The theoretical and empirical background for studying changes in the land-use regime and the carbon balance in ecosystems is explored. Changes in the morphological, basic agrochemical and microbiological properties of soils, as well as the reserves of organic carbon and microbial carbon in the top-meter layer of soil in various land-use scenarios are shown. The total carbon budget was estimated for sites with different land uses on genetically similar soils in the middle-taiga subzone of European Russia. Indicators of the state of the soil system, which can be used for the economic assessment of land-use change are proposed.

Keywords: sustainable land use, soil degradation, carbon budget, systems approach.

Введение

Расширение экономической деятельности с одновременной стабилизацией темпов использования ресурсов и уменьшением воздействия на окружающую среду представляет собой серьезную дилемму для современного общества [Decoupling, 2020]. Однако указанная проблема недостаточно исследована как в части понимания истинной экономической ценности природного капитала и установления надлежащих финансовых стимулов [Quillérou, Thomas, 2012], так и в части продвижения этих знаний до уровня локальных территорий [Conrad, Cassar, 2014]. Еще одна сложность заключается в отсутствии единства в исследовательских подходах к ее решению [Baveye, 2015].

Решение вопроса о монетизации услуг природы получило значительный импульс после того, как в центре внимания исследователей в ходе «оценки экосистем на пороге тысячелетия» возникли «экосистемные услуги», которые определяются как блага, получаемые от экосистем [Добровольский, Никитин, 1990; Baveye et al., 2016]. Это стимулировало попытки оценивать экосистемные услуги в терминах, сопоставимых с экономическими услугами и производственным капиталом [Costanza et al., 1997], включая измерения нематериальных благ [Chan et al., 2012; Milcu et al., 2013].

Для перехода от понимания природного капитала как экономической метафоры к реальной оценке запасов природных ресурсов, объединив усилия, экономисты и экологи определили экосистемный сервис как способ формулирования императивов сохранения и поддержания качества окружающей среды [Redford, Adams, 2009]. Однако привязать ценник к экосистемным услугам по-прежнему пред-

ставляет значительные трудности [Robinson et al., 2014; Dominati et al., 2016]. Это вызвано отсутствием консенсуса между исследователями как по используемым методам, связывающим цены с экосистемными услугами, так и по существу экономического подхода к экосистемным услугам [Fisher et al., 2009]. Например, переговоры по показателям целей устойчивого развития на уровне ООН так и не смогли привести к выработке достаточно четких критериев оценки [Ehlers, 2016].

Вышеназванная дискуссия актуализирует необходимость создания более совершенного статистического «компас», чтобы сместить акцент измерения экономических явлений в сторону устойчивого развития [Recommendations..., 2014]. Необходимость нового эколого-экономического подхода является очевидной, поскольку эффективность использования природных ресурсов определяется в контексте человеческого восприятия и изменяется в зависимости от социального контекста [Hauck et al., 2013; Spangenberg et al., 2014]. Таким образом, в фокус внимания ставятся микроскопические основы экономики и организационные процедуры, которые не обусловлены исключительно максимизацией дохода [Hassink et al., 2019], причем изменяющийся институциональный порядок взаимодействий между агентами исследуется при локализации соотношения частных и общих институтов [Dopfer et al., 2004; Dopfer, 2012; Menard, 2017]. На современном этапе развития общества это является альтернативой монетизации услуг природы по условным логическим процедурам, которые признаются финансовым сектором при выплатах компенсаций. Однако данное признание является результатом соглашений, априори устанавливающих природные ресурсы в качестве активов с низкой ликвидностью.

Экономика деградации земель является одним из новых направлений в исследовании этой проблематики. Изменение характера землепользования зависит как от географических особенностей, так и от экономического положения территории. Очевиден недостаток исследований, посвященных разным аспектам вовлечения почв и экосистем Европейского Севера в экономический оборот для обеспечения устойчивого земледелия. Несмотря на то что в России в последнее десятилетие проводится комплексный анализ влияния разных типов землепользования на свойства и функции постагрогенных почв, для среднетаежной подзоны таких исследований проведено немного [Литвинович, Павлова, 2007; Литвинович, 2009].

В этой связи целью настоящего исследования является включение в современный дискурс по поводу измерения производимой ценности почвенной системы. Данная цель предполагала решение двух задач. Первой из них было на примере агрогенных и постагрогенных почв, опираясь на теоретический и эмпирический вклад в части уяснения учета баланса углерода и иных свойств почв и экосистем, найти типовые (модельные) решения для количественной оценки и прогнозирования влияния внешнего воздействия на совокупность почвенных функций. Вторая задача предполагала на основе систематизации почвенных функций разработать искомую аналитическую структуру экономики деградации земель.

Полученные данные позволяют выявить тренды трансформации элементов цикла углерода при изменении землепользования, а также разработать подход к экономической оценке деградации почв с целью создания устойчивого природопользования.

Материалы и методы

Исследование проводили на Агробиологической станции КарНЦ РАН и прилегающих к ней территориях (61°45'N, 34°20'E) в пределах г. Петрозаводска (Южная Карелия). Изучали влияние разных типов землепользования на свойства и функции генетически близких почв среднетаежной подзоны Карелии, а также общий углеродный бюджет участков. Исследованы следующие типы землепользования: пашня, сенокос, а также молодой березняк 20 лет и средневозрастный ельник 65 лет естественного лесовозобновления на бывших сельхозугодьях. В качестве контроля использован спелый 110-летний ельник. Особенности естественного восстановления лесных экосистем на бывших сельскохозяйственных землях

(на примере южного агроклиматического района Карелии) отражены в публикации участников проекта [Мошкина и др., 2019; Медведева и др., 2020].

Методологической основой исследования тренда изменений почв в динамических процессах на первом этапе была оценка базовых компонентов естественных и антропогенно нарушенных экосистем. Она включала в себя установление исторического прошлого территории (работа с архивными данными), ее климатических особенностей, почвообразующих пород, растений живого напочвенного покрова и типа древостоя. Проводилось комплексное изучение бывших сельскохозяйственных земель по параметрам, позволяющим оценить динамику потоков углерода в экосистеме, которые дают возможность составить представление о потоках углерода в сукцессионных рядах с последующим расчетом экономической эффективности смены землепользования.

Исследовали подзолистые почвы нормального увлажнения, сформированные на суглинистой морене и характеризующиеся сходным гранулометрическим составом (крупнопылеватые и пылевато-песчаные легкие суглинки). Проведены следующие мероприятия: подбор пробных площадей, описание растительности, закладка опорных почвенных разрезов, морфологическое описание почв, закладка термохрон; отбор почвенных образцов в профилях (по горизонтам) для химических и микробиологических анализов; отбор почвенных монолитов для изучения массы тонких корней; анализ содержания органического углерода в образцах; измерения эмиссии CO₂ с поверхности почв.

В отобранных образцах определяли: плотность сложения (ρ) – весовым методом; обменную кислотность (pH_{KCl}) – потенциометрически; органический углерод ($\text{C}_{\text{орг}}$) – методом высокотемпературного каталитического сжигания; общий азот ($\text{N}_{\text{общ}}$) – по Кьельдалю; соотношение C/N – на CHN-анализаторе; содержание подвижного фосфора (P_2O_5) со спектрофотометрическим окончанием и калия (K_2O) с атомно-эмиссионным окончанием – по Кирсанову; сумму обменных оснований (S) – по Каппену – Гильковицу. Дыхательную активность почв и содержание в ней микробной биомассы определяли согласно рекомендациям в [Евдокимов, 2018; Телеснина и др., 2018]. Измерение эмиссии CO₂ проводили с использованием камерного метода и портативного газоанализатора на базе инфракрасного сенсора AZ 7722. Во время измерения почвенного дыхания рядом с камерой фиксировали температуру приземного слоя воздуха и температуру верх-

них горизонтов почвы при помощи термометра Сhectemp1.

Для оценки общего углеродного бюджета участков рассчитывали пять основных пулов углерода: надземную фитомассу, подземную фитомассу, дубрис – сухостой и валеж, лесную подстилку; почву (слой 0–100 см).

Для оценки распределения показателей применяли однофакторный дисперсионный анализ. В исследовании структуры связей использовали факторный анализ по матрице показателей, отражающих свойства класса объектов, состояние почвенных систем и в целом экосистем в разных фазах сукцессии. Статистическую обработку данных проводили в программах Microsoft Excel, Statistica.

Результаты и обсуждение

Почвы под исследованными видами землепользования характеризуются различной степенью агрогенной и постагрогенной трансформации по сравнению с контрольным участком под 110-летним лесом. На пашне отмечена максимальная степень трансформации профиля, который утрачивает диагностические признаки, типичные для текстурно-дифференцированных почв. На участках сенокоса и молодого леса происходит частичная постагрогенная трансформация профиля почв. Под средневозрастным лесом почва имеет отчетливо выраженный элювиальный горизонт и по морфологическому

строению близка к естественным зональным почвам. Свойства верхних минеральных горизонтов почв наиболее подвержены изменениям при смене землепользования (табл.). Для пашни и сенокоса характерен высокий агрохимический фон, близкий уровень показателей $C_{орг}$, $N_{общ}$ и соотношения C/N. В почвах лесов значительно повышается кислотность, снижается плотность и общий агрохимический фон, особенно в спелом лесу. Для пашни и спелого леса характерно пониженное содержание углерода микробной биомассы, а на участках сенокоса, молодого и средневозрастного лесов зафиксирован максимальный уровень $C_{мик}$ и факторов микробного благополучия, что ассоциируется с растущим уровнем $C_{орг}$ почвы. Максимальные запасы $C_{мик}$ в метровом слое почвы отмечены под молодым лесом, что связано с поступлением большого количества легкогидролизуемого опада. В лесу 110 лет основной пул $C_{мик}$ приурочен к лесной подстилке.

На основании данных о содержании $C_{орг}$ и плотности с помощью сплайн-функций были построены кривые профильного распределения объемного содержания органического углерода с шагом 1 см, а также кривые изменения запасов углерода с глубиной (рис. 1). Построенные графики позволяют сравнивать запасы на одной и той же глубине для разных типов почв или для разных типов землепользования, а также оценивать скорость накопления с глубиной. Содержание органического угле-

Показатели верхних минеральных горизонтов почв

Parameters of the upper mineral horizons of soils

Показатель \ Участок Parameter \ Site	Пашня Arable land	Сенокос Haymaking	Лес 20 Forest 20	Лес 65 Forest 65	Лес 110 Forest 110
Горизонт почв Soil horizon	P	P	P	AY	EL
Глубина, см Depth, cm	5–15	5–15	5–15	5–15	6–16
ρ , г/см ³ ρ , g/cm ³	1,52 ± 0,04	1,17 ± 0,03	0,94 ± 0,04	0,98 ± 0,03	1,13 ± 0,05
pH _{KCl}	5,17 ± 0,06	4,32 ± 0,05	4,05 ± 0,06	3,67 ± 0,08	3,23 ± 0,01
P ₂ O ₅ , мг/кг почвы P ₂ O ₅ , mg/kg soil	306,3 ± 20,3	46,8 ± 5,4	103,0 ± 4,0	14,0 ± 1,2	3,5 ± 0,0
K ₂ O, мг/кг почвы K ₂ O, mg/kg soil	59,3 ± 2,2	41,0 ± 2,4	44,5 ± 4,5	39,8 ± 6,5	13,3 ± 0,5
S, смоль экв/кг почвы S, cmol eq/kg soil	6,38 ± 0,65	6,00 ± 0,41	4,69 ± 0,68	0,64 ± 0,12	0,26 ± 0,21
$C_{орг}$, % $C_{орг}$, %	1,56 ± 0,05	2,07 ± 0,08	3,08 ± 0,18	4,56 ± 0,48	2,16 ± 0,02
$N_{общ}$, % N_{total} , %	0,19 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,29 ± 0,03	0,09 ± 0,01
C/N	9,6 ± 0,23	12,9 ± 0,31	14,1 ± 0,27	18,7 ± 0,16	27,1 ± 0,66

Примечание. Здесь и на рис. 1 и 2 приведены средние значения ± ошибка среднего.

Note. Here and in fig. 1, 2 are mean ± standard error.

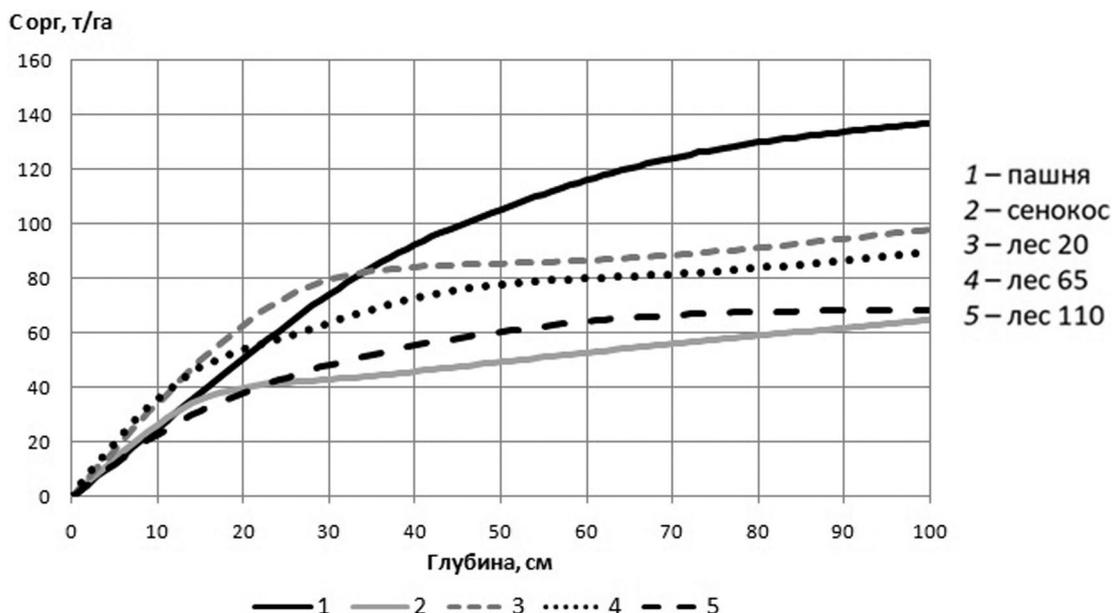


Рис. 1. Графики накопления запасов органического углерода с глубиной
 Fig. 1. Depth graphs of the accumulation of organic carbon reserves

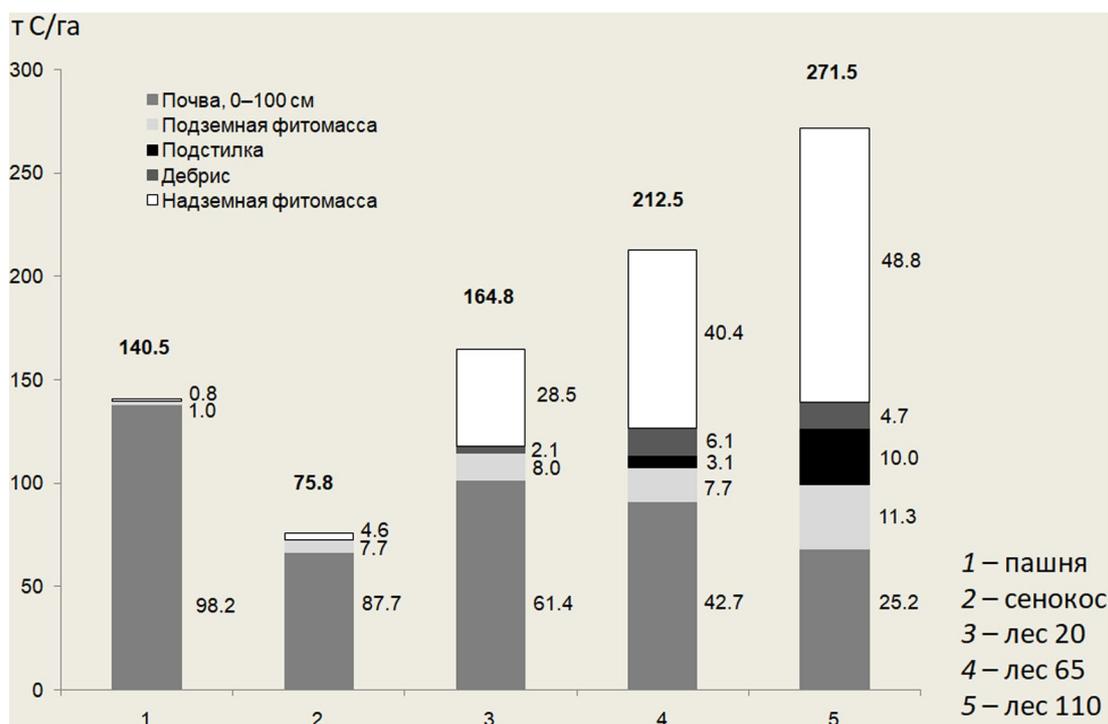


Рис. 2. Общий углеродный бюджет участков
 Fig. 2. Total carbon budget of the sites

рода растет в ряду пашня – средневозрастный лес (1,56–4,56 %).

Запасы $C_{орг}$ почвы в метровом слое максимальны на пашне (138 т/га) и снижаются на участках молодого и средневозрастного лесов до 101–91 т/га (рис. 2). Под спелым лесом и сенокосом запасы $C_{орг}$ почвы минимальны и составляют 67–68 т/га. Общий углеродный

бюджет, складывающийся из пяти пулов, максимален для зрелых лесных экосистем и минимален на сенокосе. До 50–60 % углерода участка в зрелых лесах приходится на растительную фитомассу. Возрастает также доля связанных с ней пулов мертвого органического вещества дебриса и подстилки. В молодом лесу доля почвенного углерода составляет 61 %, а под

зональной растительностью – 43–25 % от общего бюджета. Ведущим пулом углерода для пашни и сенокоса является углерод почвы – до 88–98 %.

Изменение эдафических условий приводит к изменению микробиологических показателей, которые хорошо индицируются изменением численности микроорганизмов важнейших эколого-трофических групп и функциональной активностью микробного сообщества. Установлено, что эмиссия CO_2 с поверхности почвы при равных условиях температуры (4–5 °C) и влажности (10–12 %) почвы варьирует в зависимости от способа использования земель от 0,8 г $\text{C-CO}_2/\text{м}^2$ сут на пашне до 2,9 г $\text{C-CO}_2/\text{м}^2$ сут в ельнике 110-летнем. При повышении температуры почвы (до 10–15 °C) CO_2 -эмиссионная активность почв возрастает до 2,2 и 4,3 г $\text{C-CO}_2/\text{м}^2$ сут соответственно. По предварительным оценкам, потери углерода в виде CO_2 с поверхности почвы изучаемых пробных площадей за вегетационный период (140 дней) могут составлять от 1,1 до 5,2 т/га.

В условиях Карелии восстановление лесных экосистем на месте бывших сельскохозяйственных угодий происходит по двум принципиально возможным вариантам: формирование типичных для таежной зоны смешанных древостоев с преобладанием хвойных пород (как правило, еловых) за период существования одного пионерного поколения лиственных пород или относительно редко встречающееся формирование длительно-производных лиственных древостоев с неопределенным сроком существования, в которых одно поколение лиственных пород сменяет другое несколько раз, что особенно характерно для сероольшаников. Для изучаемой территории типичен вариант формирования зональных экосистем за период, равный сроку существования в данных условиях лиственных пород. В условиях среднетаежной зоны заброшенные после сельскохозяйственного использования земли относительно быстро зарастают древесной растительностью, чему способствует повышенное содержание органического вещества в почвенном профиле, характерное для постагрогенной сукцессии. С увеличением времени, прошедшего с момента прекращения сельскохозяйственного использования территории, общая фитомасса древостоя и ее подземная часть закономерно возрастают. При этом доля тонких корней в подземной фитомассе снижается. Через 100–110 лет после забрасывания сельскохозяйственных земель сформировавшиеся на них сообщества становятся физиономически малоотличимыми от лесов, существовавших до освоения территории.

Факторами, влияющими на секвестрацию почвенного углерода при смене землепользования, являются климатические условия местности, тип почв и растительности, схема обработки и удобрения почв, история участка и иные региональные особенности. Несмотря на многочисленные исследования, имеются большие региональные различия в секвестрации почвенного углерода при изменении режима землепользования. Анализ соотношения процессов окультуривания почв и их обратной трансформации к естественному ряду вносит вклад в решение актуальной проблемы устойчивости и изменчивости почвенных признаков, в том числе направленности и скорости их изменения под влиянием естественных (под лесом) и антропогенных (на пашне) факторов.

Почвенные функции определяются сложными взаимодействиями между природными процессами и свойствами почв. Развитие концепции почвенных функций и их оценки нацелено на адекватный учет при принятии управленческих решений для обеспечения устойчивого развития фитокомплекса. Предлагаемая система представлений основана на модельных (операционных) отношениях между функциональными и структурными признаками почвы и внешними данными, каждое из которых объясняется набором взаимодействующих процессов. Нелинейный характер этих взаимодействий обуславливает устойчивость и резистентность почвенной системы по разным функциональным характеристикам. Ожидается, что эта новая концептуальная основа объединит почвоведение, экономику и смежные науки, поможет определить важные будущие исследовательские вопросы на стыке между дисциплинами. Конечной целью почвенных исследований для устойчивого управления почвами является количественная оценка и прогнозирование влияния внешних воздействий на комплекс почвенных функций. Взаимосвязь функций почв и свойств почв, связанных с характерными для них временными масштабами изменения, представлена на рис. 3.

При смене режима землепользования значительные изменения претерпевают агрохимические и физико-химические свойства почвы, обеспечивающие функцию почвенной продуктивности [Литвинович и др., 2009; Телеснина и др., 2017]. Общий углеродный бюджет землепользования является важной составляющей биогеохимического цикла углерода в биологическом круговороте веществ. В вопросе влияния смены землепользования на глобальный цикл углерода существует большая неопределенность. Считается, что изменения в земле-



Рис. 3. Взаимосвязь функций и свойств почв, ассоциированных с характерными для них временными масштабами изменения

Fig. 3. The relationship between soil functions and soil properties associated with their characteristic time scales of change

пользовании обеспечивают до 20 % общих антропогенных выбросов CO_2 и являются важным чистым источником углекислого газа [Le Quééré et al., 2009]. Региональные оценки углеродного бюджета имеют значительные различия, поскольку зависят от факторов природного и антропогенного характера. Поэтому исследования по интегральной оценке запасов углерода при разных типах землепользования актуальны [Fuchs et al., 2016; Чернова и др., 2018].

Реакция почв на внешнее воздействие имеет существенные особенности, характерные для сложных систем: в пределах определенного диапазона воздействия почвы чрезвычайно устойчивы к внешним возмущениям, в то время как за пределами некоторой критической точки состояние почв может перейти в другой режим или конфигурацию. Для анализа почв как сложной системы предлагается интерпретировать традиционное рассмотрение типов почв как характерную комбинацию ее отдельных функциональных и структурных характеристик.

Тип почвы рассматривается как аттрактор в многомерном пространстве состояний функциональных и структурных характеристик почвы. Под аттрактором понимается совокупность состояний свойств, которые встречаются чаще, чем другие. И интерпретация полученных данных заключается в том, что подчиненные почвенные процессы и их взаимодействия притягивают систему к этому состоянию. Это означает, что аттракторы относительно устойчивы

в ответ на внешнее воздействие, как это фактически наблюдается для почвы. Важным следствием данной концепции является то, что набор функциональных характеристик не является набором независимых признаков, но все члены набора тесно взаимосвязаны. Это обусловлено тем, что все они имеют одну и ту же основу взаимодействующих почвенных процессов, из которых они возникают. Взаимосвязи доступны не только эмпирическому наблюдению, а также могут быть выведены из происходящих процессов, так как представляют собой целостное проявление лежащих в их основе физических, химических и биологических процессов.

В этой связи статистический анализ должен отразить некоторые взаимосвязи между физическими, химическими и биологическими агентами в почвенных системах. Исходя из сформулированной гипотезы взаимосвязи почвенных процессов и переменных состояния почвы предполагается, что все наблюдаемые нами изменения значений эмпирических признаков обусловлены изменением некоторых внутренних свойств этих объектов – значений латентных факторов (вычисленных по матрице эмпирических показателей). При определенных статистических предположениях о характере распределений наблюдаемых признаков в определенной интерпретации фактора он приобретает смысл латентной переменной, детерминирующей значения наблюдаемых признаков и обуславливающей наличие кор-

реляции между ними. Если нет однозначного соответствия показателей с эмпирической переменной (или с которой имеется сильная корреляция), для отражения латентного фактора можно использовать индексный метод. Индикаторы (либо главные компоненты, вычисленные по матрице эмпирических показателей, либо латентные индексы) состояния почвенной системы представляются в качестве кодов классификации систематизированного перечня именованных объектов и их состояний.

Примером индикатора являются запас углерода почвы, а также ее структура. Последняя может оцениваться, например, индексом, основанным на наблюдаемых гидравлических свойствах. Данные индикаторы отражают как продуктивную функцию, так и среду обитания почвенных организмов. Полагаем, что существуют формализуемые тесные связи между свойствами почвы, биологической активностью и различными «углеродными» показателями.

Выводы

Рассмотрены общетеоретические и эмпирические основы исследования изменения режима землепользования и баланса углерода в экосистемах. Установлено, что вопросы, связанные с характером данных изменений, в целом достаточно хорошо изучены и освещены в научной литературе, однако существуют и малоизученные области, в частности связанные с развитием вторичных лесных биоценозов и изменениями, происходящими при этом в почве.

Вопрос о постагрогенном развитии экосистем для среднетаежной подзоны Карелии рассматривается впервые.

На основе анализа дискуссии по проблеме монетизации услуг природы и объединения естественных и экономических наук предложена эколого-экономическая концептуальная система представлений, основанная на модельных (операционных) отношениях между функциональными и структурными признаками почвы и внешними данными, а также визуальная модель взаимосвязи функций и свойств почв, обусловленных характерными для них временными масштабами изменения. При этом тип почвы рассматривается как аттрактор в многомерном пространстве состояний функциональных и структурных характеристик почвы.

На основе полученных данных планируется перейти к созданию математических моделей и семантических конструкций, описывающих структуру отношений в почвенных системах – характерную комбинацию функциональных и структурных характеристик почв и фитоце-

нозов в целом. В дальнейшем ставится задача разработки методики экономической оценки землепользования в геосистемном ключе экономики биосферы. Она будет основываться на вкладе знаний почвоведения в разрешение заявленной проблемной ситуации и институциональном анализе структуры цены и механизма ценообразования экосистемных услуг. Также в ее основе будет гипотеза о том, что при существенных транзакционных издержках среди рентиобразующих факторов именно институциональные факторы становятся лимитирующими по сравнению с природными.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 192905153).

Литература

- Евдокимов И. В. Методы определения биомассы почвенных микроорганизмов // Russ. J. Ecosystem Ecol. 2018. Vol. 3, no. 3. P. 1–20. doi: 10.21685/2500-0578-2018-3-5
- Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Функции почв в биосфере и экосистеме. М.: Наука, 1990. 261 с.
- Литвинович А. В. Постагрогенная эволюция хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв северо-запада нечерноземной зоны // Агрехимия. 2009. № 7. С. 85–93.
- Литвинович А. В., Дричко В. Ф., Павлова О. Ю., Чернов Д. В., Шабанов М. В. Изменение кислотно-основных свойств окультуренных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава в процессе постагрогенной трансформации // Почвоведение. 2009. № 6. С. 680–686.
- Литвинович А. В., Павлова О. Ю. Изменение гумусного состояния дерново-подзолистой глееватой песчаной почвы на залежи // Почвоведение. 2007. № 11. С. 1323–1329.
- Медведева М. В., Мошкина Е. В., Геникова Н. В., Карпечко А. Ю., Туюнен А. В., Мамай А. В., Дубровина И. А., Сидорова В. А., Толстогузов О. В., Кулакова Л. М. Изменение содержания углерода в отдельных компонентах биогеоценоза в процессе его постагрогенной трансформации (среднетаежная подзона Карелии) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2020. № 7. С. 141–151. doi: 10.36535/0235-5019-2020-07-2
- Мошкина Е. В., Медведева М. В., Туюнен А. В., Карпечко А. Ю., Геникова Н. В., Дубровина И. А., Мамай А. В., Сидорова В. А., Толстогузов О. В., Кулакова Л. М. Особенности естественного восстановления лесных экосистем на бывших сельскохозяйственных землях (на примере южного агроклиматического района Карелии) // Биосфера. 2019. Т. 11, № 3. С. 134–145.
- Телеснина В. М., Курганова И. Н., Лопес де Гереню В. О., Овсеян Л. А., Личко В. И., Ермолаев А. М., Мирин Д. М. Динамика свойств почв и состава растительности в ходе постагрогенного развития в разных биоклиматических зонах // Поч-

воведение. 2017. № 12. С. 1514–1534. doi: 10.7868/S0032180X17120115

Телеснина В. М., Курганова И. Н., Лопес де Гереню В. О., Овсепян Л. А., Мостовая А. С., Личко В. И., Баева Ю. И. Влияние процессов естественного лесовосстановления на микробиологическую активность постагрогенных почв европейской части России // Лесоведение. 2018. № 1. С. 3–23. doi: 10.7868/S0024114818010011

Чернова О. В., Рыжова И. М., Подвезенная М. А. Влияние исторических и региональных особенностей землепользования на величину и структуру запасов углерода в южной тайге и лесостепи Европейской России // Почвоведение. 2018. № 6. С. 747–758. doi: 10.7868/S0032180X18060114

Baveye P. C. Grand challenges in the research on soil processes // Front. Environ. Sci. 2015. No. 3. Art. 10. doi: 10.3389/fenvs.2015.00010

Baveye P. C., Baveye J., Gowdy J. Soil “ecosystem” services and natural capital: critical appraisal of research on uncertain ground // Front. Environ. Sci. 2016. No. 4. Art. 41. doi: 10.3389/fenvs.2016.00041

Chan K. M. A., Satterfield T., Goldstein J. Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values // Ecol. Econ. 2012. No. 74. P. 8–18. doi: 10.1016/j.ecolecon.2011.11.011

Conrad E., Cassar L. F. Decoupling economic growth and environmental degradation: reviewing progress to date in the small island state of Malta // Sustainability. 2014. No. 6. P. 6729–6750.

Costanza R., d’Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O’Neill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P., van den Belt M. The value of the world’s ecosystem services and natural capital // Nature. 1997. No. 387. P. 253–260.

Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth // UNEP. URL: <https://www.unep.org/resources/report/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth> (дата обращения: 09.10.2020).

Dominati E. J., Mackay A., Lynch B., Heath N., Millner I. An ecosystems approach to quantify soil performance for multiple outcomes: The future of land evaluation? // Soil Sci. Soc. Am. J. 2016. Vol. 80(2). P. 438–449. doi: 10.2136/sssaj2015.07.0266

Dopfer K., Foster J., Potts J. Micro-meso-macro // J. Evol. Econ. 2004. Vol. 14(3). P. 263–279. doi: 10.1007/s00191-004-0193-0

Dopfer K. The origins of meso economics. Schumpeter’s legacy and beyond // J. Evol. Econ. 2012. Vol. 22(1). P. 133–160.

Menard C. Meso-institutions: the variety of regulatory arrangements in the water sector // Utilities Policy. 2017. No. 49. P. 6–19.

Ehlers K. Chances and challenges in using the sustainable development goals as a new instrument for global action against soil degradation // Int. Yearbook

of Soil Law and Policy / Eds. H. Ginzky, I. Heuser, T. Qin, O. Ruppel, P. Wegerdt. Cham: Springer, 2016. P. 73–84. doi: 10.1007/978-3-319-42508-5_8

Fisher B., Turner R. K., Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making // Ecol. Econ. 2009. Vol. 68(3). P. 643–653. doi: 10.1016/j.ecolecon.2008.09.014

Fuchs R., Schulp C. J. E., Hengeveld G. M., Verburg P. H., Clevers J. G. P. W., Schelhaas M. J., Herold M. Assessing the influence of historic net and gross land changes on the carbon fluxes of Europe // Glob. Change Biol. 2016. Vol. 22. P. 2526–2539. doi: 10.1111/gcb.13191

Hassink R., Isaksen A., Trippel M. Towards a comprehensive understanding of new regional industrial path development // Regional Studies. 2019. Vol. 53(11). P. 1636–1645.

Hauck J., Görg C., Varjopuro R., Ratamáki O., Jax K. Benefits and limitations of the ecosystem services concept in environmental policy and decision making: Some stakeholder perspectives // Environ. Sci. Policy. 2013. No. 25. P. 13–21. doi: 10.1016/J.ENVSOCI.2012.08.001

Le Quééré C., Raupach M. R., Canadell J. G. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide // Nat. Geosci. 2009. Vol. 2. P. 831–836. doi: 10.1038/ngeo689

Milcu A. I., Hanspach J., Abson D., Fischer J. Cultural ecosystem services: a literature review and prospects for future research // Ecol. Soc. 2013. Vol. 18(3). Art. 44. doi: 10.5751/ES-05790-180344

Spangenberg J. H., Görg Ch., Truong D. T., Tekken V., Bustamante J. V., Settele J. Provision of ecosystem services is determined by human agency, not ecosystem functions. Four case studies // Int. J. Biodivers. Sci. Ecosyst. Serv. Manag. 2014. No. 10(1). P. 40–53. doi: 10.1080/21513732.2014.884166

Quillérou E., Thomas R. Costs of land degradation and benefits of land restoration: a review of valuation methods and suggested frameworks for inclusion into policy-making // CAB Review. 2012. No. 7(0606). P. 1–12.

Recommendations of the Conference of European statisticians for measuring sustainable development // United Nations. New York; Geneva: Eurostat, 2014.

Redford K. H., Adams W. M. Payment for ecosystem services and the challenge of saving nature // Conserv. Biol. 2009. Vol. 23(4). P. 785–787. doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01271.x

Robinson D., Fraser I., Dominati E. J., Davíðsdóttir B., Jónsson J. O. G., Jones L., Jones S. B., Tuller M., Lebron I., Bristow K. L., Souza D. M., Banwart S., Clothier B. E. On the value of soil resources in the context of natural capital and ecosystem service delivery // Soil Sci. Soc. Am. J. 2014. No. 78. P. 685–700. doi: 10.2136/sssaj2014.01.0017

Поступила в редакцию 08.04.2021

References

Chernova O. V., Ryzhova I. M., Podvezennaya M. A. The effect of historical and regional features of land use on the size and structure of carbon pools in the South-

ern Taiga and forest-steppe zones of European Russia. *Eur. Soil Sci.* 2018. No. 51. P. 709–719. doi: 10.1134/S106422931804004X

Dobrovolskii G. V., Nikitin E. D. Funktsii pochv v biosfere i ekosisteme [Soil functions in the biosphere and ecosystem]. Moscow: Nauka, 1990. 261 p.

Evdokimov I. V. Metody opredeleniya biomassy pochvennykh mikroorganizmov [Methods for determining the biomass of soil microorganisms]. *Russ. J. Ecosystem Ecol.* 2018. Vol. 3, no. 3. P. 1–20. doi: 10.21685/2500-0578-2018-3-5

Litvinovich A. V. Postagrogennaya evolyutsiya khorosho okul'turenykh dernovo-podzolistykh pochv severozapada nechernozemnoi zony [Postagrogenic evolution of well-cultivated sod-podzolic soils of the north-west of the non-chernozem zone]. *Agrokhim.* [Agrochem.]. 2009. No. 7. P. 85–93.

Litvinovich A. V., Drichko V. F., Pavlova O. Yu., Chernov D. V., Shabanov M. V. Changes in the acid-base properties of cultivated light-textured soddy-podzolic soils in the course of postagrogenic transformation. *Eur. Soil Sci.* 2009. No. 42. P. 629–635. doi: 10.1134/S1064229309060076

Litvinovich A. V., Pavlova O. Yu. Change of the humus state of sod-podzolic gleeval sandy soil to deposits sol. *Eur. Soil Sci.* 2007. Vol. 40(11). P. 1181–1186.

Medvedeva M. V., Moshkina E. V., Genikova N. V., Karpechko A. Yu., Tuyunen A. V., Mamai A. V., Dubrovina I. A., Sidorova V. A., Tolstoguzov O. V., Kulakova L. M. Izmeneniye soderzhaniya ugleroda v otdel'nykh komponentakh biogeotsenoza v protsesse ego postagrogennoi transformatsii (srednetaezhnaya podzona Karelii) [Changes in the carbon content of individual components of the biogeocenosis during its postagrogenic transformation (middle taiga subzone of Karelia)]. *Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnnykh resursov* [Issues of Environment and Natural Resources]. 2020. No. 7. P. 141–151. doi: 10.36535/0235-5019-2020-07-2

Moshkina E. V., Medvedeva M. V., Tuyunen A. V., Karpechko A. Yu., Genikova N. V., Dubrovina I. A., Mamai A. V., Sidorova V. A., Tolstoguzov O. V., Kulakova L. M. Osobennosti estestvennogo vosstanovleniya lesnykh ekosistem na byvshikh sel'skokhozyaistvennykh zemlyakh (na primere yuzhnogo agroklimaticheskogo raiona Karelii) [Patterns of natural forest ecosystem regeneration in abandoned farmland (the case of the Southern agro-climatic district of Karelia)]. *Biosfera* [Biosphere]. 2019. Vol. 11, no. 3. P. 134–145.

Telesnina V. M., Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Ovsepyan L. A., Mostovaya A. S., Lichko V. I., Baeva Yu. I. Vliyaniye protsessov estestvennogo lesovosstanovleniya na mikrobiologicheskuyu aktivnost' postagrogennykh pochv evropeiskoi chasti Rossii [Influence of natural reforestation processes on the microbiological activity of postagrogenic soils of the European part of Russia]. *Lesovedenie* [Russ. J. Forest Sci.]. 2018. No. 1. P. 3–23. doi: 10.7868/S0024114818010011

Telesnina V. M., Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Ovsepyan L. A., Lichko V. I., Ermolaev A. M., Mirin D. M. Dynamics of soil properties and plant composition during postagrogenic evolution in different bioclimatic zones. *Eur. Soil Sci.* 2017. No. 50. P. 1515–1534. doi: 10.1134/S1064229317120109

Baveye P. C. Grand challenges in the research on soil processes. *Front. Environ. Sci.* 2015. No. 3. Art. 10. doi: 10.3389/fenvs.2015.00010

Baveye P. C., Baveye J., Gowdy J. Soil “ecosystem” services and natural capital: critical appraisal of research on uncertain ground. *Front. Environ. Sci.* 2016. No. 4. Art. 41. doi: 10.3389/fenvs.2016.00041

Chan K. M. A., Satterfield T., Goldstein J. Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values. *Ecol. Econ.* 2012. No. 74. P. 8–18. doi: 10.1016/j.ecolecon.2011.11.011

Conrad E., Cassar L. F. Decoupling economic growth and environmental degradation: reviewing progress to date in the small island state of Malta. *Sustainability.* 2014. No. 6. P. 6729–6750.

Costanza R., d'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P., van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature.* 1997. No. 387. P. 253–260.

Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. *UNEP.* URL: <https://www.unep.org/resources/report/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth> (accessed: 09.10.2020).

Dominati E. J., Mackay A., Lynch B., Heath N., Millner I. An ecosystems approach to quantify soil performance for multiple outcomes: The future of land evaluation? *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2016. Vol. 80(2). P. 438–449. doi: 10.2136/sssaj2015.07.0266

Dopfer K., Foster J., Potts J. Micro-meso-macro. *J. Evol. Econ.* 2004. Vol. 14(3). P. 263–279. doi: 10.1007/s00191-004-0193-0

Dopfer K. The origins of meso economics. Schumpeter's legacy and beyond. *J. Evol. Econ.* 2012. Vol. 22(1). P. 133–160.

Menard C. Meso-institutions: the variety of regulatory arrangements in the water sector. *Utilities Policy.* 2017. No. 49. P. 6–19.

Ehlers K. Chances and challenges in using the sustainable development goals as a new instrument for global action against soil degradation. *Int. Yearbook of Soil Law and Policy.* Eds. H. Ginzky, I. Heuser, T. Qin, O. Ruppel, P. Wegerdt. Cham: Springer, 2016. P. 73–84. doi: 10.1007/978-3-319-42508-5_8

Fisher B., Turner R. K., Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecol. Econ.* 2009. Vol. 68(3). P. 643–653. doi: 10.1016/j.ecolecon.2008.09.014

Fuchs R., Schulp C. J. E., Hengeveld G. M., Verburg P. H., Clevers J. G. P. W., Schelhaas M. J., Herold M. Assessing the influence of historic net and gross land changes on the carbon fluxes of Europe. *Glob. Change Biol.* 2016. Vol. 22. P. 2526–2539. doi: 10.1111/gcb.13191

Hassink R., Isaksen A., Trippl M. Towards a comprehensive understanding of new regional industrial path development. *Regional Studies.* 2019. Vol. 53(11). P. 1636–1645.

Hauck J., Görg C., Varjopuro R., Ratamäki O., Jax K. Benefits and limitations of the ecosystem services concept in environmental policy and decision making: Some stakeholder perspectives. *Environ. Sci. Policy.* 2013. No. 25. P. 13–21. doi: 10.1016/j.envsci.2012.08.001

Le Quééré C., Raupach M. R., Canadell J. G. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nat. Geosci.* 2009. Vol. 2. P. 831–836. doi: 10.1038/ngeo689

Milcu A. I., Hanspach J., Abson D., Fischer J. Cultural ecosystem services: a literature review and prospects for future research. *Ecol. Soc.* 2013. Vol. 18(3). Art. 44. doi: 10.5751/ES-05790-180344

Spangenberg J. H., Görg Ch., Truong D. T., Tekken V., Bustamante J. V., Settele J. Provision of ecosystem services is determined by human agency, not ecosystem functions. Four case studies. *Int. J. Biodivers. Sci. Ecosyst. Serv. Manag.* 2014. No. 10(1). P. 40–53. doi: 10.1080/21513732.2014.884166

Quillérou E., Thomas R. Costs of land degradation and benefits of land restoration: a review of valuation methods and suggested frameworks for inclusion into policy-making. *CAB Review.* 2012. No. 7(0606). P. 1–12.

Recommendations of the Conference of European statisticians for measuring sustainable develop-

ment. *United Nations.* New York; Geneva: Eurostat, 2014.

Redford K. H., Adams W. M. Payment for ecosystem services and the challenge of saving nature. *Conserv. Biol.* 2009. Vol. 23(4). P. 785–787. doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01271.x

Robinson D., Fraser I., Dominati E. J., Davíðsdóttir B., Jónsson J. O. G., Jones L., Jones S. B., Tuller M., Lebron I., Bristow K. L., Souza D. M., Banwart S., Clothier B. E. On the value of soil resources in the context of natural capital and ecosystem service delivery. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2014. No. 78. P. 685–700. doi: 10.2136/sssaj2014.01.0017

Received April 08, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Толстогузов Олег Викторович

ведущий научный сотрудник, д. э. н.
Институт экономики КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: olvito@mail.ru

Геникова Надежда Васильевна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: genikova@krc.karelia.ru

Дубровина Инна Александровна

старший научный сотрудник, к. с.-х. н.
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: vorgo@mail.ru

Карпечко Анна Юрьевна

научный сотрудник, к. с.-х. н.
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: yuvkarp@onego.ru

Кулакова Любовь Михайловна

старший научный сотрудник, к. э. н.
Институт экономики КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: dialogkarelia@gmail.com

CONTRIBUTORS:

Tolstoguzov, Oleg

Institute Economics, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: olvito@mail.ru

Genikova, Nadezhda

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: genikova@krc.karelia.ru

Dubrovina, Inna

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: vorgo@mail.ru

Karpechko, Anna

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: yuvkarp@onego.ru

Kulakova, Lyubov

Institute Economics, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: dialogkarelia@gmail.com

Мамай Анастасия Витальевна

младший научный сотрудник, к. б. н.
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: krutova_n@mail.ru

Медведева Мария Владимировна

заведующая лаб. лесного почвоведения, к. б. н., доц.
Институт леса КарНЦ РАН, Федеральный
исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: mariamed@mail.ru

Мошкина Елена Викторовна

научный сотрудник, к. с.-х. н.
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: lena_moshkina@mail.ru

Сидорова Валерия Александровна

научный сотрудник, к. с.-х. н.
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: val.sidorova@gmail.com

Тююнен Андрей Владимирович

научный сотрудник
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: tuyunen@krc.karelia.ru

Mamai, Anastasia

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: krutova_n@mail.ru

Medvedeva, Maria

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: mariamed@mail.ru

Moshkina, Elena

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: lena_moshkina@mail.ru

Sidorova, Valeria

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: val.sidorova@gmail.com

Tuyunen, Andrey

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: tuyunen@krc.karelia.ru