УДК 912.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-103-34-50

Ссылки для цитирования:
Новиков С.Г. Создание электронной карты плодородия почв Карелии // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 103. С. 34-50. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-103-34-50
Cite this article as:
Novikov S.G., Producing the digital soil fertility map of Karelia, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 103, pp. 34-50, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-103-34-50
Благодарность:
Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).
Acknowledgments:
The financial support of the research was provided from the federal budget for the state assignment of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences).

Создание электронной карты плодородия почв Карелии

© 2020 г. С. Г. Новиков

Институт леса КарНЦ РАН,
ФИЦ “Карельский научный центр РАН”, Россия,
185910, Республика Карелия, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11
https://orcid.org/0000-0003-2387-2656,
e-mail: novikovsergey.nsg@gmail.com.

Поступила в редакцию 29.06.2020, *после доработки* 27.07.2020,
принята к публикации 10.09.2020

Резюме: В настоящее время развитие почвенного цифрового картирования открывает новые возможности для решения научно-практических задач почвенно-экологического мониторинга, инвентаризации почвенно-земельных ресурсов, а также способствует оптимизации природопользования. Для территории Карелии разработка методов оценки лесных почв имеет большое значение, так как 95% земель республики – это лесные почвы. Данная работа показывает

процесс создания дополненной современными данными электронной карты плодородия лесных почв Карелии масштаба 1 : 500 000. Для этой цели архивная карта продуктивности почв республики, созданная на бумажном носителе Р.М. Морозовой, была отсканирована и переведена в векторный формат при помощи программного пакета MapInfo Professional 8.5. Полученное изображение было наложено на имеющуюся оцифрованную почвенную карту Карелии, которая послужила основой для построения тематического слоя по данным о плодородии каждого типа почв. В результате выполнения представленной работы дополнена имеющаяся оценочная шкала, а также рассчитано процентное соотношение различных по продуктивности почв Карелии. Подготовленная карта является важным информационным источником архивных и современных данных, а также входит в состав ГИС по почвам Карелии.

Ключевые слова: почвенные карты, плодородие почв, лесные почвы, картография, ГИС.

Producing the digital soil fertility map of Karelia

S. G. Novikov

Forest Research Institute
of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
11 Pushkinskaya Str., Petrozavodsk 185910,
Republic of Karelia, Russian Federation,
https://orcid.org/0000-0003-2387-2656,
e-mail: novikovsergey.nsg@gmail.com.

Received 29.06.2020, *Revised* 27.07.2020, *Accepted* 10.09.2020

Abstract: Recent advancements in soil digital mapping have opened new opportunities for handling the scientific and applied problems of ecological soil monitoring, inventory of land and soil resources, and are generally helpful in optimizing the management of natural resources. For Karelia the development of forest soil assessment techniques is essential, considering that 95% of the republic's land is forest soils. This paper tells about the process of creating an updated digital map of forest soils fertility in Karelia, scale 1 : 500 000. To this end, the archival soil productivity map of the republic, produced in paper version by R.M. Morozova in 2000, was scanned and converted into a vector layer with the use of the MapInfo Professional 8.5 software package. The resultant layer was aligned with the existing digitalized soil map of Karelia, which served as the basis for constructing the thematic layer according to the data on the fertility of each soil type. As a result of this

study, the soil fertility assessment scale was specified and the percentage ratio of soils of different productivity in Karelia was calculated. The digital soil fertility map is an important information source of archival and modern data, and also is a part of the GIS for soils of Karelia.

Keywords: soil maps, soil fertility, cartography, GIS, MapInfo.

ВВЕДЕНИЕ

Последние десятилетия отмечены бурным развитием информационных технологий, во многом определяющих перспективы развития различных направлений науки, в том числе почвоведения. Открываются возможности решений на новом уровне научно-практических задач: инвентаризации почвенно-земельных ресурсов, почвенно-экологического мониторинга, моделирования и прогнозирования почвенных процессов, что необходимо для оптимизации природопользования, воспроизводства плодородия и предотвращения деградации почв (Цифровая…, 2012). Интерес к проблеме цифрового почвенного картирования отражается в большом количестве как российских, так и зарубежных публикаций (Kwabena, 2011; Савин, 2014, 2019; Заносова, Гребенкина, 2016; Özyazici et al., 2017; Ахметова и др., 2018; Nussbaum et al., 2018; Савин и др., 2019). Для различных экологических целей специалисты чаще всего исследуют следующие почвенные свойства: содержание органического углерода, основных элементов минерального питания (N, P, K), поллютантов (тяжелые металлы), а также составляют карты гранулометрического состава, плотности, влажности почв, оценки деградации почвенного покрова (засоление, закисление и эрозия).

К настоящему времени в Институте леса КарНЦ РАН накоплено большое количество данных о свойствах почв Карелии, составлены различные тематические карты на бумажных носителях, которые датируются второй половиной XX века. Однако для поддержания актуальности картографические материалы необходимо периодически корректировать и обновлять. В связи с этим актуальной задачей является оцифровка и обновление имеющихся архивных карт. Такая работа активно ведется в лаборатории лесного почвоведения ИЛ КарНЦ РАН. Сотрудниками лаборатории оцифрована и обновлена почвенная карта Карелии (М 1 : 500 000)

1955 года (Ахметова, Бахмет, 2013; Ахметова, 2020).

Целью данного исследования являлось создание и анализ дополненной современными данными электронной карты плодородия лесных почв Карелии масштаба 1 : 500 000 на основе имеющейся архивной карты продуктивности почв и оцифрованной почвенной карты.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для создания обновленной электронной карты продуктивности лесных почв Карелии использовали архивную карту масштаба 1 : 500 000 (Карта плодородия…). Она выполнена на бумажном носителе, на который нанесены контуры почв из почвенной карты (Почвенная…, 1955). Каждый контур закрашен вручную в соответствии с легендой, которая состоит из двух блоков – лесные и освоенные почвы. Основной блок включает в себя 22 наименования лесных почв, балл их продуктивности и цветовое обозначение. В дополнительном блоке представлены 4 типа освоенных почв, для них балл продуктивности не определялся. Точный год создания оригинальной версии карты не известен, предположительно 1980–1990 гг. Недатированный оригинал хранится в лаборатории лесного почвоведения ИЛ КарНЦ РАН.

В качестве основы для данной работы использовали электронную версию почвенной карты Карелии масштаба 1 : 500 000, на которую накладывали отсканированные растровые изображения архивной карты плодородия почв для их дальнейшей векторизации с помощью программного продукта MapInfo Professional 8.5.

Названия почв и их сочетаний в легенде созданной карты даны по Региональной классификации (Морозова, 1991).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сложность решения проблемы оценки и картирования плодородия почв обусловлена отсутствием общепринятых критериев. Многие зарубежные исследователи в своих научных работах для характеристики почвенного плодородия используют индекс плодородия почвы – SFI (Soil Fertility Index), который представляет

собой интегральный показатель, учитывающий основные физико-химические свойства почв (pH, P, K, C и др.) (Moran et al., 2000; Andrews et al., 2004; Kwabena, 2011; Panwar et al., 2011; Özyazici et al., 2017). В 2012 году для оценки качества почвы ученые из США предложили использовать индекс продуктивности – PI (Productivity Index), основным отличием которого является то, что он не требует большого количества данных о почве (Schaetzl et al., 2012). PI варьирует от 0 (наименее продуктивные) до 19 (наиболее продуктивные) и определяется по таксономической принадлежности почв, а именно по уровню “семейство”. В почвенной классификации США для определения семейства учитывают следующие почвенные свойства: гранулометрический и минералогический состав, карбонатность, температуру, мощность почвенного профиля и др. (Самофалова, 2012). По индексу PI построена и опубликована карта продуктивности почв США (Miller et al., 2012).

Для оценки плодородия лесных почв Карелии была разработана бонитировочная шкала на основе учета их генетических и лесорастительных свойств (Федорец и др., 2000). Оценочная таблица включает в себя полные названия почв, балл их продуктивности по 100-балльной системе, мощность рыхлой толщи почвообразующих пород, а также следующие характеристики ландшафта: форма рельефа, тип леса и его производительность (класс бонитета). Первоначальный вариант шкалы периодически изменяется и дополняется новыми данными (Федорец и др., 2003). Создание электронной карты продуктивности почв также включало в себя корректировку оценочной таблицы. В связи с получением нового экспериментального материала в нее были добавлены следующие почвы:

1. Подбуры типичные грубогумусные среднемощные песчаные на песчаной морене, располагающиеся на склонах моренных холмов и гряд, под сосняками брусничными IV класса бонитета, с мощностью рыхлой толщи более 50 см, оценены в 35–40 баллов.
2. Подзолы иллювиально-гумусово-железистые песчаные на песчаной морене, располагающиеся на склонах моренных гряд и холмов под сосняками брусничными и черничными III или IV классов бонитета, с мощностью рыхлой толщи более 50 см, оценены в 55–60 баллов.

3. Пятнисто-подзолистые супесчаные на супесчаной морене, встречающиеся в моренном мелкохолмистом ландшафте под ельниками и березняками разнотравно-черничными II–III классов бонитета, с мощностью рыхлой толщи более 50 см, оценены в 75–80 баллов.
4. Подзолистые грунтово-глееватые супесчаные на супесчаной морене, встречающиеся в моренном мелкохолмистом ландшафте под ельниками черничными III класса бонитета, с мощностью рыхлой толщи более 50 см, оценены в 75–80 баллов.
5. Подзолистые вторично-дерновые песчаные на песчаной морене, располагающиеся на волнистых моренных равнинах под сосняками брусничными III класса бонитета, с мощностью рыхлой толщи более 50 см, оценены в 75–80 баллов.

Также в оценочной шкале (Федорец и др., 2003) была проведена корректировка названий типов леса по Яковлеву, Вороновой (Яковлев, Воронова, 1959), которая использовалась при заполнении базы данных по почвам Карелии (Солодовников, 2012), созданной в лаборатории лесного почвоведения ИЛ КарНЦ РАН.

На первом этапе создания электронной карты продуктивности почв ее изображение было отсканировано по частям с архивного бумажного носителя. Таким образом, получили 6 отдельных растров, которые зарегистрировали в системе координат Пулково 1942 с заданной проекцией Гаусса-Крюгера GK зона 6 и наложили на векторную почвенную карту. Геопривязка осуществлялась по имеющейся на картах координатной сетке. Реперными (то есть опорными) точками для привязки служили пересечения линий широты и долготы, а также некоторые географические объекты: озера, населенные пункты, точки на границах республики. Фрагмент отсканированного изображения карты представлен на рисунке 1.

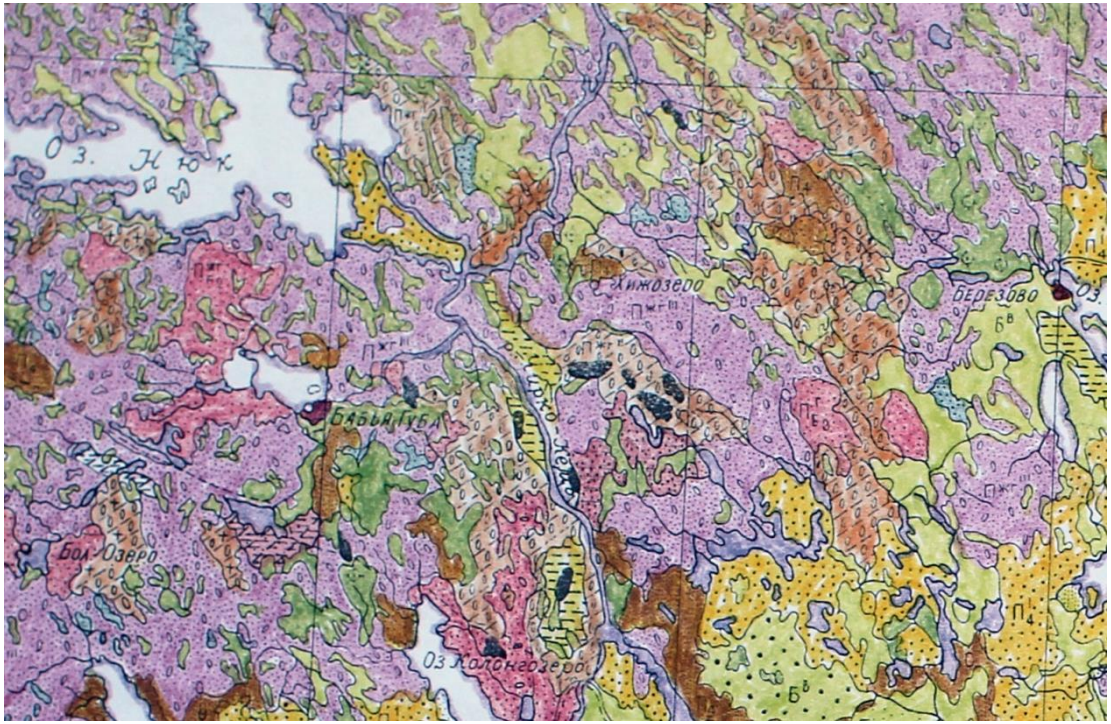

Рис. 1. Фрагмент архивной карты продуктивности почв Карелии (М 1 : 500 000).
Fig. 1. Fragment of soil productivity map of Karelia (Scale: 1 : 500 000).

Далее, поскольку почвенные контуры на обеих картах полностью совпадают, была перестроена структура основной таблицы атрибутивных данных почвенной карты: добавлены новые поля “код_плодородие”, “плодородие_балл”, “плодородие_название_почвы”. Поле “код_плодородие” содержит уникальные значения, которые соответствуют определенному баллу и сочетанию почв, оно введено для удобства построения различных запросов с целью анализа данных в программном пакете MapInfo Professional 8.5. Таким образом, после правки каждый полигон (почвенный контур) на векторной карте почв Карелии содержит следующую информацию:

- “ID” – порядковый номер полигона;
- “индекс_по” – индекс типа почв в соответствии с почвенной картой (1955 г.);
- “почва” – название почв в соответствии с почвенной картой (1955 г.);
- “код_почва” – уникальное значение, присвоенное каждому типу почв в соответствии с почвенной картой (1955 г.);
- “механическ” – механический состав почвы в соответствии с почвенной картой Карелии (1955 г.);
- “код_мех_сост.” – уникальное значение, присвоенное каждому типу механического состава в соответствии с почвенной картой (1955 г.);
- “комплексы” – название сопутствующих почв в соответствии с почвенной картой (1955 г.);
- “код_комплекс” – уникальное значение, присвоенное каждому типу сопутствующих почв в соответствии с почвенной картой (1955 г.);
- “код_плодородие” – уникальное значение, присвоенное каждому типу почв в соответствии с архивной картой плодородия почв;
- “плодородие_балл” – значение балла плодородия почв в соответствии с архивной картой плодородия почв;
- “плодородие_название_почв” – название почв в соответствии с архивной картой плодородия почв.

После того, как в атрибутивные данные каждого полигона на почвенной карте была добавлена информация о плодородии, следовал этап построения тематического слоя.

В программном пакете MapInfo Professional 8.5 возможно составлять тематические карты различного типа. В данном случае наиболее подходящим является тип “Отдельные значения – индивидуальные значения регионов, стандартные”, который выделяет записи в таблице в зависимости от индивидуальных значений в заданном поле, в нашем случае это поле “плодородие_название_почв”.

Завершающим этапом являлась настройка легенды создаваемой карты. Было решено придерживаться цветовой гаммы, представленной на исходной архивной карте плодородия почв Карелии Р.М. Морозовой, в соответствии с возможностями программного пакета MapInfo Professional 8.5 (рис. 2).

В процессе создания электронной карты продуктивности, на нее были добавлены новые контуры – “Болотные осушенные”, которые были выделены на почвенной карте в результате ее обновления (Ахметова, 2020). На легенде они находятся в разделе Освоенные почвы. А также, в связи с получением новых сведений, название сочетания почв “Подзолы иллювиально-железисто-гумусовые песчаные и пылевато-песчаные валунные в сочетании с болотными верховыми (сев. тайга)” в легенде было заменено на “Подзолы иллювиально-железисто-гумусовые и гумусово-железистые на валунных песках и супесях в сочетании с болотными торфяными (северная тайга)”.

В результате проделанной работы была построена электронная карта плодородия почв Карелии (рис. 3). Векторная карта состоит из 18 550 почвенных контуров, заполненных цветом в соответствии с легендой, на которой представлены два раздела – лесные и освоенные почвы. Первый включает в себя 22 наименования почв и их сочетаний, а также балл плодородия и цвет. Во втором блоке 5 типов освоенных почв и их цветовое обозначение без указания балла продуктивности.

Плодородие лесных почв Карелии

Балл	Название почв, их сочетаний
<5	Горно-тундровые и примитивные на выходах коренных пород
5-10	Горно-подзолистые и фрагментарные подзолы с близким залеганием коренных пород
10-15	Болотные верховые торфяные и торфяно-глеевые
15-20	Болотные переходные торфяные и торфяно-глеевые, аллювиальные маршевые
20-25	Торфяные подзолы иллювиально-гумусовые песчаные
23-30	Торфянистые и торфяные подзолы иллювиально-железисто-гумусовые песчаные иногда ортзандовые
30-35	Подбуры песчаные и супесчаные щебнистые с близким залеганием коренных пород
35-40	Болотные низинные торфяные и перегнойно-глеевые, аллювиальные пойменные
40-45	Поверхностно-подзолистые и подзолы иллювиально-железисто-гумусовые песчаные каменисто-валунные
45-50	Торфяно-глеевые суглинистые, реже супесчаные
45-50	Подзолы иллювиально-железистые песчано-гравийные в сочетании с болотными верховыми
50-55	Подзолы иллювиально-железисто-гумусовые и гумусово-железистые на валунных песках и супесях в сочетании с болотными торфяными (северная тайга)
55-60	Подзолы иллювиально-гумусово-железистые супесчаные и легкосуглинистые валунные
55-60	Глееподзолистые суглинистые
60-65	Подзолы иллювиально-железистые на валунных песках в сочетании с болотными верховыми
65-70	Подзолы иллювиально-гумусовые-железистые пылевато-песчаные и супесчаные валунные в сочетании с болотными переходными и верховыми
70-75	Подзолы иллювиально-железистые тонкопесчаные, пылевато-песчаные с прослойками суглинков и подзолы супесчаные на морене с включением основных пород и шунгитов
75-80	Подзолистые контактно-глееватые суглинистые
80-85	Подзолистые супесчаные на суглинках, суглинистые
85-90	Буроземы кислые и подзолистые суглинистые
90-95	Буроземы темноцветные на шунгитовой морене
95-100	Буроземы темноцветные шунгитовые на шунгитовых сланцах

Освоенные почвы

	Пахотные подзолистые и болотно-подзолистые
	Пахотные буроземы темноцветные на шунгитовых сланцах
	Подзолистые и болотно-подзолистые залуженные
	Буроземы темноцветные залуженные
	Болотные осушенные

Рис. 2. Легенда карты плодородия почв Карелии.
Fig. 2. Legend of the soil fertility map of Karelia.

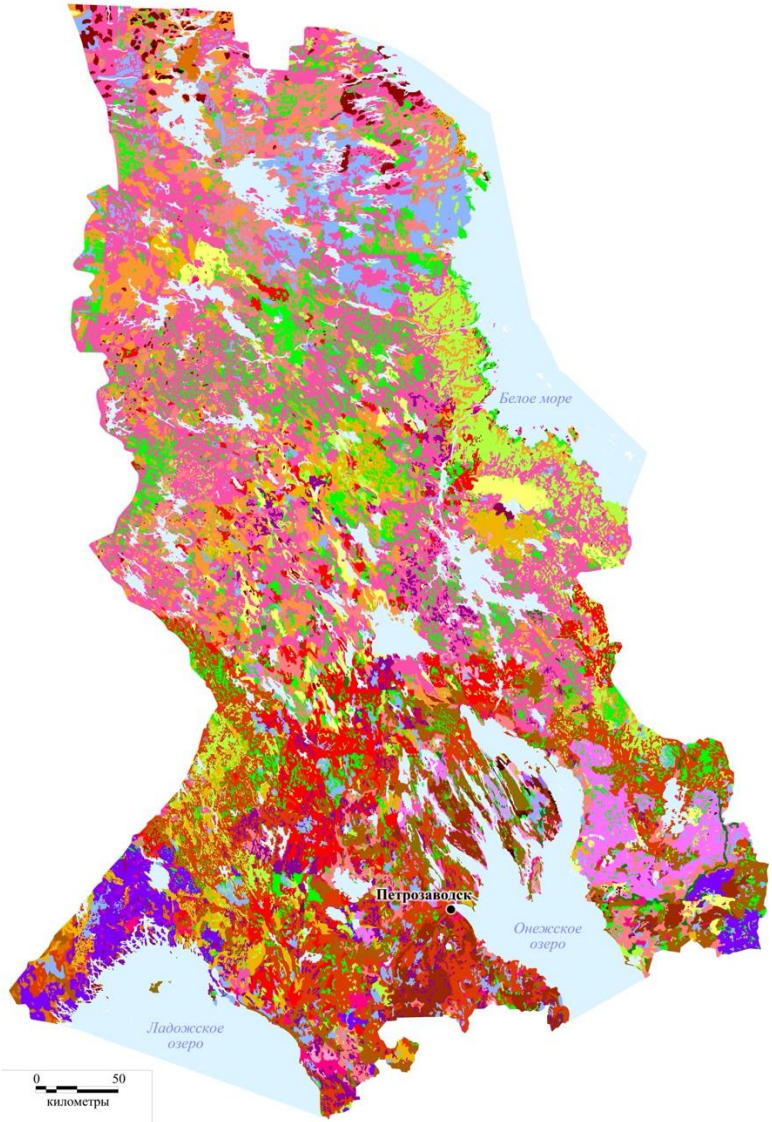

Рис. 3. Электронная карта плодородия почв Карелии.
Fig. 3. Digital map of Karelia soil fertility.
Примечание. Легенда к карте представлена на рисунке 2.
Note. Map legend is shown in Figure 2.

Анализ построенной карты в програмном пакете MapInfo Professional 8.5 позволил определить процентное соотношение различных по степени продуктивности почв. Почвы Карелии по лесорастительным свойствам разделены на 5 групп (Федорец и др., 2000):

- Наилучшие плодородные почвы, оцененные в 80–100 баллов, занимают 4.6% от общей площади почвенного покрова Карелии, они встречаются в южной и юго-восточной части республики.
- Хорошие для произрастания древесных насаждений почвы (60–80 баллов) составляют 20.7%. Данные почвы приурочены к среднетаежной подзоне Карелии.
- На долю средних по качеству почв (40–60 баллов) приходится 34.9%, они распространены на территории северо-таежных лесов республики.
- Почвы ниже среднего качества (20–40 баллов) занимают 16.3% почвенного покрова, встречаются на севере Карелии.
- Почвы очень низкого качества (0–20 баллов) составляют 18.5%. К ним относятся все примитивные, неполноразвитые почвы, а также болотные переходные и верховые. Эти почвы распространены по всей территории республики и представлены небольшими по площади контурами. Наиболее крупные массивы болотных верховых почв выделены вдоль западного побережья Белого моря.

Таким образом, на долю лесных почв приходится 95% почвенного покрова Карелии, освоенные почвы занимают лишь 5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы подготовлена электронная карта плодородия лесных почв Карелии масштаба 1 : 500 000, которая имеет важное практическое значение и является составной частью ГИС по почвам Карелии (Ахметова и др., 2018). Дополнена имеющаяся оценочная (бонитировочная) шкала лесных почв. Рассчитано процентное соотношение различных по степени продуктивности почв Карелии. Установлено, что среди лесных почв наиболее распространены средние по качеству почву (40–60 бал-

лов), они составляют 34.9% от общей площади почвенного покрова. Освоенные почвы занимают лишь 5% исследуемой территории.

Электронная карта продуктивности почв Карелии наглядно отражает состояние и функционирование почвенного покрова республики. В дальнейшем она может дополняться и корректироваться, оставаясь важным информационным источником архивных и современных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахметова Г.В.* Использование ГИС-технологий для идентификации болотных почв при обновлении электронной почвенной карты Карелии // Интеркарто / ИнтерГИС. 2020. (принято в печать)
2. *Ахметова Г.В., Бахмет О.Н.* Цифровая версия почвенной карты Карелии масштаба 1 : 500 000 // Разнообразие лесных почв и биоразнообразие лесов. Сборник материалов V Всерос. науч. конф. по лесному почвоведению с междунар. участием. Пущино: ИФХиБПП РАН, 2013. С. 31–33.
3. *Ахметова Г.В., Бахмет О.Н., Новиков Г.С., Медведева М.В., Солодовников А.Н.* Разработка геоинформационной системы “Почвы Республики Карелия”: формирование концепции и структуры // ИнтерКарто / ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. Т. 24. Ч. 2. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. С. 262–270. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-262-270.
4. *Заносова В.И., Гребенкина Д.М.* Методика оцифровки для создания тематических карт орошаемого массива // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 6 (140). С. 42–48.
5. Карта плодородия почв Карелии, Масштаб: 1 : 500 000. Сост. Р.М. Морозова.
6. *Морозова Р.М.* Лесные почвы Карелии. Л.: Наука, 1991. 184 с.
7. Почвенная карта Карелии, Масштаб: 1 : 500 000 / сост. О.Н. Михайловская. 1955 г.
8. *Савин И.Ю.* Проблема масштаба в современной почвенной картографии // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. № 97. С. 5–20. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-97-5-20.
9. *Савин И.Ю., Жоголев А.В., Прудникова Е.Ю.* Современные тренды и проблемы почвенной картографии // Почвоведение. 2019. № 5. С. 517–528. DOI: 10.1134/S0032180X19050101.

10. *Савин И.Ю., Овечкин С.В.* Об обновлении среднемасштабных почвенных карт // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1184–1192. DOI: 10.7868/S0032180X14100128.
11. *Самофалова И.А.* Современные проблемы классификации почв. Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. 175 с.
12. *Солодовников А.Н.* База данных “Почвы Карелии” (св-во о гос. регистрации №2012620683) // Официальный бюллетень “Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем”. 2012. № 8.
13. *Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Синькевич С.М., Загуральская Л.М.* Оценка продуктивности лесных почв Карелии. П.: КарНЦ РАН, 2000. 195с.
14. *Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Солодовников А.Н.* Лесные почвы Карелии и оценка их продуктивности // Труды Карельского научного центра РАН. 2003. Вып. 5. С. 108–120.
15. Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования: Сб. ст. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2012. 357 с.
16. *Яковлев Ф.С., Воронова В.С.* Типы лесов Карелии и их природное районирование. Петрозаводск, 1959. 82 с.
17. *Andrews S.S., Karlen D.L., Cambardella C.A.* The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method // Soil Science Society of America Journal. 2004. No. 68 (6). P. 1945–1962.
18. *Kwabena A.N.* Using soil fertility index to evaluate two different sampling schemes in soil fertility mapping: A case study of Hvanneyri, Iceland. United Nations University Land Restoration Training Programme (final project). 2011. 45 p. URL: https://www.grocentre.is/static/gro/publication/390/document/nketia_2011_final.pdf.
19. *Miller B.A., Schaetzl R.J., Krist Jr F.J.* The Soil Productivity Index: Taxonomically Based, Ordinal Estimates of Soil Productivity // Conference: Association of American Geographers Annual Meeting. New York. USA. 2012. DOI: 10.13140/2.1.3036.5127.
20. *Moran E.F., Brondizion E.S., Tucker J.M., Da Silva-Forsberg M.C., McCracken S., Falesi I.* Effects of soil fertility and land use on forest succession in Amazonia // Forest Ecology and Management. 2000. No. 139 (1–3). P. 93–108. DOI: 10.1016/S0378-1127(99)00337-0.
21. *Nussbaum M., Spiess K., Baltensweiler A., Grob U., Keller A., Greiner L., Schaepman M.E., Papritz A.* Evaluation of digital soil mapping approaches with large sets of environmental covariates // Soil. 2018. No. 4. P. 1–22. DOI: 10.5194/soil-4-1-2018.

22. *Özyazici M.A., Dengiz O., Sağlam M., Erkoçak A., Türkmen F.* Mapping and assessment-based modeling of soilfertility differences in the central and eastern parts of the BlackSea region using GIS and geostatistical approaches // Arabian Journal of Geosciences. 2017. No. 10 (45). P. 2–9. DOI: 10.1007/s12517-016-2819-6.
23. *Panwar P., Pal S., Reza S.K., Sharma B.* Soil Fertility Index, Soil Evaluation Factor, and Microbial Indices under Different Land Uses in Acidic Soil of Humid Subtropical India // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2011. No. 42 (22). P. 2724–2737. DOI: 10.1080/00103624.2011.622820.
24. *Schaetzl R.J., Krist F.J. Jr., Miller B.A.* In review. Introducing the Soil Fertility Index: a taxonomically based, ordinal estimate of soil fertility // Soil Science. 2012. No. 177. P. 288–299. DOI: 10.1097/SS.0b013e3182446c88.

REFERENCES

1. Akhmetova G.V., Ispol'zovanie GIS-tekhnologii dlya identifikatsii bolotnykh pochv pri obnovlenii elektronnoi pochvennoi karty Karelii (GIS-Technology application for identification of peat bog soils for updating the digital soil map of Karelia), *Intercarto / InterGIS*, 2020. (in print)
2. Akhmetova G.V., Bakhmet O.N., Tsifrovaya versiya pochvennoi karty Karelii masshtaba 1 : 500 000 (Digital version of soil map of Karelia. Scale 1 : 500 000), “Raznoobrazie lesnykh pochv i bioraznoobrazie lesov” Sbornik materialov V Vseros. nauch. konf. po lesnomu pochvovedeniyu s mezhdunar. Uchastiem (*Proc. the 5th All-Russian Conf. “Diversity of forest soil and biodiversity of forest”)*, Pushchino: IFKHiBPP RAS, 2013, pp. 31–33.
3. Akhmetova G.V., Bakhmet O.N., Novikov S.G., Medvedeva M.V., Solodovnikov A.N., Razrabotka geoinformatsionnoi sistemy “Pochvy Respubliki Kareliya”: formirovanie kontseptsii i struktury (Development of the Geographical Information System “Soils of the Republic of Karelia”: designing the concept and the structure), InterCarto, InterSIG, *Proc. Intern. Conf. GI support of sustainable development of territories*, Petrozavodsk: KarRC RAS, 2018, Vol. 24, part 2, pp. 262–270, DOI: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-262-270.
4. Zanosova V.I., Grebenkina D.M., Digitization technique for creating thematic maps of the irrigated massif, *Bulletin of Altai State Agrarian University*, 2016, No. 6 (140), pp. 42–48.
5. Morozova R.M., *Karta plodorodiya pochv Karelii, Masshtab: 1 : 500 000* (Map of soil fertility of Karelia, Scale: 1 : 500 000).
6. Morozova R.M., *Lesnye pochvy Karelii* (Forest soils of Karelia), Leningrad: Nauka, 1991, 184 p.

7. Mikhailovskaya O.N., *Pochvennaya karta Karelii, Masshtab: 1 : 500 000* (The soil map of Karelia, Scale: 1 : 500 000), 1955.
8. Savin I.Yu., The scale problem in modern soil mapping, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019, No 97, pp. 5–20, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-97-5-20.
9. Savin I.Yu., Zhogolev A.V., Prudnikova E.Yu., Sovremennye trendy i problemy pochvennoi kartografii (Modern Trends and Problems of Soil Mapping), *Pochvovedenie*, 2019, No. 5, pp. 517–528, DOI: 10.1134/S0032180X19050101.
10. Savin I.Yu., Ovechkin S.V., Ob obnovlenii srednemasshtabnykh pochvennykh kart (On the updating of medium-scale soil maps), *Pochvovedenie*, 2014, No. 10, pp. 1184–1192, DOI: 10.7868/S0032180X14100128.
11. Samofalova I.A., *Sovremennye problemy klassifikatsii pochv* (Modern problems of soil classification), Perm': Izd-vo FGBOU VPO Permskaya GSKhA, 2012, 175 p.
12. Solodovnikov A.N., Baza dannykh “Pochvy Karelii” (sv-vo o gos. registratsii № 2012620683) (Database “Soils of Karelia” (certificate of state registration No. 2012620683)), *Official Bulletin of Computer Software. Database. Topologies of integrated circuits*, 2012, No. 8.
13. Fedorets N.G., Morozova R.M., Sin'kevich S.M., Zagural'skaya L.M., *Otsenka produktivnosti lesnykh pochv Karelii* (Assessment of forest soil productivity in Karelia), Petrozavodsk: KarRC RAS, 2000, 195 p.
14. Fedorets N.G., Morozova R.M., Solodovnikov A.N., Lesnye pochvy Karelii i otsenka ikh produktivnosti (Forest soils of Karelia and assessment of their productivity), Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN (*Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*), Petrozavodsk, 2003, No. 5, pp. 108–120.
15. *Tsifrovaya pochvennaya kartografiya: teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya* (Digital soil mapping: theoretical and experimential surveys), Collection of articles, Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2012, 357 p.
16. Yakovlev F.S., Voronova V.S., *Tipy lesov Karelii i ikh prirodnoe raionirovanie* (Types of forests of Karelia and their natural zoning), Petrozavodsk, 1959, 82 p.
17. Andrews S.S., Karlen D.L., Cambardella C.A. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method, *Soil Science Society of America Journal*, 2004, No. 68 (6), pp. 1945–1962.
18. Kwabena A.N., *Using soil fertility index to evaluate two different sampling schemes in soil fertility mapping: A case study of Hvanneyri, Iceland*, United Nations University Land Restoration Training Programme (final project), 2011, 45 p., URL:

https://www.grocentre.is/static/gro/publication/390/document/nketia_2011_final.pdf.
19. Miller B.A., Schaetzl R.J., Krist Jr F.J., The Soil Productivity Index: Taxonomically Based, Ordinal Estimates of Soil Productivity, *Conference: Association of American Geographers Annual Meeting*, New York, 2012, DOI: 10.13140/2.1.3036.5127.
20. Moran E.F., Brondizion E.S., Tucker J.M., Da Silva-Forsberg M.C., McCracken S., Falesi I., Effects of soil fertility and land use on forest succession in Amazonia, *Forest Ecology and Management*, 2000, No. 139 (1–3), pp. 93–108, DOI: 10.1016/S0378-1127(99)00337-0.
21. Nussbaum M., Spiess K., Baltensweiler A., Grob U., Keller A., Greiner L., Schaepman M.E., Papritz A., Evaluation of digital soil mapping approaches with large sets of environmental covariates, *Soil*, 2018, No. 4, pp. 1–22, DOI: 10.5194/soil-4-1-2018.
22. Özyazici M.A., Dengiz O., Sağlam M., Erkoçak A., Türkmen F., Mapping and assessment-based modeling of soilfertility differences in the central and eastern parts of the BlackSea region using GIS and geostatistical approaches, *Arabian Journal of Geosciences*, 2017, No. 10 (45)., pp. 2–9, DOI: 10.1007/s12517-016-2819-6.
23. Panwar P., Pal S., Reza S.K., Sharma B., Soil Fertility Index, Soil Evaluation Factor, and Microbial Indices under Different Land Uses in Acidic Soil of Humid Subtropical India, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2011, No. 42 (22), pp. 2724–2737, DOI: 10.1080/00103624.2011.622820.
24. Schaetzl R.J., Krist F.J. Jr., Miller B.A., In: Introducing the Soil Fertility Index: a taxonomically based, ordinal estimate of soil fertility, *Soil Science*, 2012, No. 177, pp. 288–299, DOI: 10.1097/SS.0b013e3182446c88.