

Приложение А

Современные методические подходы к картографированию содержания/запасов ПОУ на региональном и локальном уровнях

Природная зона (Olson et al., 2001), рис. 6	Территория исследования	Типы землепользования / растительности	Пространственное разрешение / масштаб	Содержание/запасы ОУ/ Как полуплотность (d/dv/ ПТФ)	Почвенный горизонт и/или глубина	Обучающая выборка/ размер БД (число точек наблюдений)	Почвенная карта / Предикторы на основе модели SCORPAN	Использованные методы	Валидация карты / Оценки точности модели	Программное обеспечение	Ссылка на публикацию
Подход I — Картографирование на основе почвенных карт											
6, 11	Россия, республика Коми	Все типы растительности	1 : 25 000 30 м	ЗПОУ	0–2 м	200	БД WRB, 2006; Landsat ETM+ и QuickBird; Топографические и карты четвертичных отложений	Метод автоматической управляемой классификации (Supervised Classification). Нахождение среднего арифметического значения	Валидация по литературным данным	ERDAS Imagine и ArcGIS	Пастухов, Каверин, 2013
4, 8	Россия, Московская, Ростовская и Белгородская области	Земли с/х использования 3-х областей (МО, РО и БО)	1 : 300 000	ЗПОУ dv, ПТФ	0–30 см	ПГБД РФ 2000	Почвенная карта РСФСР (1 : 2 500 000); Почвенная карта Крыма (1 : 2 500 000); среднemasштабные почвенные карты МО, БО, РО; ПГБД РФ	1. Расчет ЗПОУ на основании данных государственных Центров агрохимической службы (содержание гумуса в почвах и плотность почв) 2. Наложение на мелкомасштабные раскрасочные карты ЗПОУ в почвах областей	Не проводилась	ArcGIS	Чернова и др., 2021

Природная зона (Olson et al., 2001), рис. 6	Территория исследования	Типы землепользования / растительности	Пространственное разрешение / масштаб	Содержание / запасы ОУ / Как полуженность (d/dv/ ПТФ)	Почвенный горизонт и/или глубина	Обучающая выборка / размер БД (число точек наблюдений)	Почвенная карта / Предикторы на основе модели SCORPAN	Использованные методы	Валидация карты / Оценки точности модели	Программное обеспечение	Ссылка на публикацию
11	Россия, Республика Коми	Все типы землепользования	30 м	ЗПОУ	0–2.5 м	152	ЦМР SRGM; топографическая карта (1:100 000); почвенная карта (1:25 000); карта растительности на основе Landsat-7; почвенная карта ключевых участков	Создание карты растительности по данным Landsat-7, выявление связей между типами растительности и почвами с учетом ландшафтных факторов и ЦМР, составление почвенной карты. Составление тематической карты ЗПОУ; добавление БД почвенных профилей к каждой группе почв с вычисленными средними значениями углерода	Оценка точности управляемой классификации на основе матрицы совпадений и коэффициента Каппа-статистики	Классификация снимков в ERDAS Imagine, ArcGIS	Папухов и др., 2016
6, 11	Россия, Центральная Якутия	Все типы землепользования	Ландшафтный комплекс	ЗПОУ	0–0.2 м; 0–1 м; 0–2 м; 0–3 м; 0–4 м	NCSCD	–	Лабораторный анализ запасов углерода и многокомпонентный анализ на основе ГИС	R ² , стандартное отклонение, IQR	QGIS	Шепелев, 2022
Подход II – Цифровое почвенное картографирование											
РОССИЯ											
4, 8	Россия, Воронежская область	Тестовые участки на с/х землях (СХП)	30 м, 10 м	СПОУ	Пахотный горизонт почв	22	O, R 19 предикторов	RF, XGBoost, BART	Метод перекрестной проверки R ² , MAE, RMSE	Обработка спутниковых данных: QGIS. Подготовка предикторов: Saga GIS	Чинилин, Савин, 2018

Природная зона (Olson et al., 2001), рис. 6	Территория исследования	Типы землепользования / растительности	Процентное разделение / масштаб	Содержание/запасы ОУ/ Как получена плотность (d/dv/ ППФ)	Почвенный горизонт и/или глубина	Обучающая выборка/ размер БД (число точек наблюдений)	Почвенная карта / Предикторы на основе модели SCORPAN	Использованные методы	Валидация карты / Оценки точности модели	Программное обеспечение	Ссылка на публикацию
4	Россия, Брянская область, ЗП «Брянский лес»	Все типы растительности	10 м	СПОУ, ЗПОУ	Лесная подстилка (подгруппы L, FH)	33	O, R, N 14 предикторов	RF Информативность переменных: MDA	R ² , RMSE	Подготовка предикторов: Saga GIS Моделирование: R, пакеты «caret», «ranger»	Гаврилюк и др., 2021
11	Россия, Республика Коми	Естественные ландшафты	300 м	СПОУ, ЗПОУ dv, ППФ		150	S, C, R 5 предикторов	Нелинейная множественная регрессия	Гистограмма стандартного отклонения	Аналитическая ГИС Эко, версия 1.08г.	Шарый и др., 2018
8, 4	Россия, Республика Башкортостан	Антропогенно образованные угодья	30 м	СПОУ	0–10 см	76	R 17 предикторов	MLR, SVM	R ² , RMSE	R	Suleymanov et al., 2021
8	Россия, Новосибирская область	Естественные и антропогенно образованные угодья	30 м	СПОУ	0–30 см	263	R 1 предиктор	OK, RK	R ² , RMSE	Surfer, SAGA GIS	Гопл, 2022
ЕВРОПА											
Европа: 4, 5, 6, 8, 12	Европа, Австралия: Новый Южный Уэльс и Северная Виктория	Европа: все типы землепользования Австралия: с/х угодья	-	СПОУ	Европа: 0–30 см Австралия: 0–1 м	Европа: набор данных LUCAS — 19 036 Австралия: 72	S	CNN, PLS, Cubist	Данные LUCAS: 50% — обучение, 25% — валидация, 25% — тестирование. Данные на Австралию: 75% — обучение, 25% — валидация RMSE, R ² , ME	CNN: Python v3.6.2, Keras v2.1.2 и Tensorflow v1.4.1 Cubist и PLS: R v3.3.1, пакеты Cubist v0.2.1 и pls v2.6-0	Radari-an et al., 2019
Австралия: 4, 8, 12, 13											

Природная зона (Olson et al., 2001), рис. 6	Территория исследования	Типы землепользования / растительности	Пространственное разрешение / масштаб	Содержание / запасы ОУ / Как полена плотность (d/dv/ ПТФ)	Почвенный горизонт и/или глубина	Обучающая выборка/ размер БД (число точек наблюдений)	Почвенная карта / Предикторы на основе модели SCORPAN	Использованные методы	Валидация карты / Оценки точности модели	Программное обеспечение	Ссылка на публикацию
4, 12	Франция	Естественные и антропогенно преобразованные уголья	50 м	ЗПОУ dv изменена	0–45 см: 0–7.5 см, 7.5–15 см, 15–30 см, и 30–45 см	64	O, R, P 17 предикторов	MLR, RK, RF	Оценка неопределенности в каждой точке, R ² , RMSE	R	Elli et al., 2019
4, 12	Франция	3 модели: 1. лесные экосистемы; 2. возделываемые земли, 3. все типы землепользования	12 км	ЗПОУ dv изменена	0–30 см	RMQS 2158	S, C, O	BRT	К-кратная перекрестная валидация MPE, SDPE, RMSPE, R ²	R, пакет «gbm»	Martin et al., 2011
4, 12	Франция	Все типы землепользования Построены две модели	250 м	СПОУ	0–30 см	RMQS 2158	S, C, O	MLR, AIC, AICc	RMSE	Картографирование в ArcGIS 9.3. Валидация модели в R v2.9.0	Meermans et al., 2012
4	Венгрия	Все типы землепользования Построены две модели: 1992, 2010 гг.	100 м	ЗПОУ dv изменена в 1992 г.	0–30 см	SIMS 1236	S, C, O, R, P 26 предикторов	RF soRK LMC	10-кратная перекрестная валидация ME, RMSE, LCCC	-	Szattmari et al., 2021
4, 12, 5	Италия	Все типы землепользования	100 м	СПОУ	0–50 см	17 817	S, C, O, R, P	MLRA RK	R ² , RMSE, t-test	R	Fantappiè et al., 2011
4, 12, 5	Италия, С-В часть	Все типы землепользования	30 м	СПОУ	0–20 см	258	O, R, P 10 предикторов	RK	ME, RMSE, RMNSE	R, ArcGis	Francaviglia et al., 2014

Природная зона (Olson et al., 2001), рис. 6	Территория исследования	Типы землепользования / растительности	Пространственное разрешение / масштаб	Содержание/запасы ОУ/ Как полупочена плотность (d/dv/ ППФ)	Почвенный горизонт и/или глубина	Обучающая выборка/ размер БД (число точек наблюдений)	Почвенная карта / Предикторы на основе модели SCORPAN	Использованные методы	Валидация карты / Оценки точности модели	Программное обеспечение	Ссылка на публикацию
13, 10, 4, 5, 9, 3	Китай	Все типы землепользования	90 м	ЗПОУ	0–20 см	1980-е: 8897 2010-е: 4534	C, O, R	BRT 2 модели для: 1980-х гг. 2010-х гг.	Из выборки: 80% — обучение, 20% — валидация ME, RMSE, R ² , LCCC	Подготовка предикторов: ArcGIS 10, Saga GIS Моделирование: R, пакет «gbm»	Wang et al., 2021
13	Китай , провинция Цитай	C/х земли аридных ландшафтов (пшеница и кукуруза)	30 м	СПОУ	0–20 см	115	S, C, O, R 11 предикторов	RF	Из выборки: 70% — обучение, 30% — валидация R ² RMSE	Подготовка предикторов: ArcGIS; Моделирование: R, пакет «Random Forest» Расчет статистики: SPSS Statistics	Zhang et al., 2022
4	Китай , провинция Ляонин	Лесные экосистемы	90 м	ЗПОУ ППФ для 1990 г.	0–30 см	1990 г.: 367 2015 г.: 549	C, O, R 9 предикторов	BRT	R ² , MAE, RSME, LCCC	Подготовка предикторов: ArcGIS, Saga GIS, ENVI Моделирование: R, пакет «dismo»	Wang et al., 2019
4	Китай , городской округ Хуайбэй в провинции Аньхой	Все типы землепользования	30 м	ЗПОУ по опубликованным данным	в целом в ландшафте (т/га)	-	C, O, R 12 предикторов	СА, цепи Маркова	-	-	Xiaojun Zhu et al., 2022

АЗИЯ

Природная зона (Olson et al., 2001), рис. 6	Территория исследования	Типы землепользования / растительности	Пространственное разрешение / масштаб	Содержание / запасы ОУ / Как получена плотность (d/dv/ ПТФ)	Почвенный горизонт и/или глубина	Обучающая выборка/ размер БД (число точек наблюдений)	Почвенная карта / Предикторы на основе модели SCORPAN	Использованные методы	Валидация карты / Оценки точности модели	Программное обеспечение	Ссылка на публикацию
1	Китай, остров Хайнань	Все типы землепользования	90 м	СПОУ	0–20 см	2511	C, O, R, P, N 21 предиктор	RFRK, SLR, RF	Из выборки: 70% — обучение, 30% — валидация ME, MAE, RMSE, R ²	–	Guo et al., 2015
13	Иран	Все типы землепользования	30 м	СПОУ	0–20 см	201	O 37 предикторов	RF, SVR, ANN	R ² , RMSE	R	Fathiazad et al., 2022
13	Иран, С-В часть	Все типы землепользования	30 м	СПОУ	0–20 см	288	S, C, O, R, P 30 предикторов	RF, Cubist, RK	NRMSE	R	Kaya et al., 2022
13	Иран, провинция Альборз	Все типы землепользования	30 м	СПОУ	0–30 см	362	S, O, R	ANN, DT (CART)	Из выборки: 70% — обучение, 15% — тестирование, 15% — валидация R ² , RMSE, коэфф. корреляции Пирсона	Подготовка предикторов: ERDAS IMAGINE, SAGA, ArcGIS 9.3 Моделирование: MATLAB, команды «RegTree», «nftool»	Hatefard et al., 2019
13	Иран, провинция Курдистан	Все типы землепользования	30 м	ЗПОУ	0–1 м; 0–15 см и 15–30 см; 30–60 см и 60–100 см	188	O, R 18 предикторов	ANN, SVR, RF, метод к-средних	5-кратная перекрестная валидация RMSE, LCCC	–	Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2016

Природная зона (Olson et al., 2001), рис. 6	Территория исследования	Типы землепользования / растительности	Пространственное разрешение / масштаб	Содержание/запасы ОУ/ Как получена плотность (d/dv/ ПТФ)	Почвенный горизонт и/или глубина	Обучающая выборка/ размер БД (число точек наблюдений)	Почвенная карта / Предикторы на основе модели SCORPAN	Использованные методы	Валидация карты / Оценки точности модели	Программное обеспечение	Ссылка на публикацию
СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА											
4	США, штат Пенсильвания	Все типы землепользования	30 м	ЗПОУ dv, ПТФ из NCSS	0–100 см	878	O, R 12 предикторов	GWRK, RK	Из выборки: 80% — обучение, 20% — валидация MEE, MAEE, RMSE	Анализ предикторов: GWR software, Регрессионный анализ: SAS, Подготовка предикторов: Surfer 9	Kumar et al., 2012
4	США, штат Висконсин	Лесные экосистемы; с/х; пастбища и прерии; водноболотные угодья	90 м	ЗПОУ dv, ПТФ из NCSS и RaCA	0–30 см	280	S, C, O, R, P	Cubist	Из выборки: 75% — обучение; 25% — валидация R ² , RMSE, ME	-	Adhikari et al., 2019
5, 9	США, штат Флорида	Естественные угодья	10 м 30 м 250 м 2000 м	ЗПОУ d определена в лабораторных условиях	0–10 см 10–20 см	108	O, R, P 62 предиктора	RF	R ² , RMSE Leave-one-out cross-validation	R	Kim, Grunwald, 2016
5, 9	США, штат Флорида	Все типы землепользования	30 м	ЗПОУ dv изменена	0–20 см	SSURGO 1014	S, C, O, R, P 53 предиктора	Выбор предикторов: Boruta Моделирование: MLR, CART, RF, SVM, BoRT, BaRT, OK, RK	Из выборки: 70% — обучение; 30% — валидация R ² , RMSD, RPD, RPIQ	R 3.2.0, пакеты «gstat», «randomForest», «kernlab», «pls»	Keskin et al., 2019

Природная зона (Olson et al., 2001), рис. 6	Территория исследования	Типы землепользования / растительности	Пространственное разрешение / масштаб	Содержание / запасы ОУ / Как получена плотность (d/dv / ПТФ)	Почвенный горизонт и/или глубина	Общая выборка / размер БД (число точек наблюдений)	Почвенная карта / Предикторы на основе модели SCORPAN	Использованные методы	Валидация карты / Оценки точности модели	Программное обеспечение	Ссылка на публикацию
1, 2, 3	Доминиканская Республика	Лесные экосистемы	30 м	ЗПУ	0–15 см	268	Модель А: С, О, R Модель В: С, R Модель С: O 20 предикторов	RF	Из выборки: 70% — обучение, 30% — валидация. R ² , LCCC, RMSE, MAPE, MAD	GEE	Duarte et al., 2022
ЮЖНАЯ АМЕРИКА											
1, 2, 7, 9, 13, 14	Бразилия	Все типы землепользования	1 км	ЗПУ 10% — dv из мерена, 90% — ПТФ	0–1 м	8227	С, О, R, P 74 предиктора	Выбор предикторов: RFE Моделирование: RF, Cubist, SVM, GLM	Из выборки: 80% — обучение, 20% — валидация R ² , RMSE, MAE	Подготовка предикторов: RSAGA Моделирование: R, пакет «Caret»	Gomes et al., 2019
1, 2, 7	Колумбия	Все типы землепользования	90 м	ЗПУ dv из ISRIC	0–30 см	653	С, О, R, P 9 предикторов	RF	R ² , RMSE	R Подготовка предикторов: SAGA GIS, ArcGIS	Rainford et al., 2021
АФРИКА											
1, 10, 12, 13, 14	ЮАР	Все типы землепользования	30 м	ЗПУ dv измерения / БД betaSoil Grids 2019	0–20 см 0–30 см	5834	С, О, R 40 предикторов	RF	Из выборки: 70% — обучение, 30% — валидация R ² , RMSE, MAE	GEE	Venter et al., 2021

Природная зона (Olson et al., 2001), рис. 6	Территория исследования	Типы землепользования / растительности	Пространственное разрешение / масштаб	Содержание / запасы ОУ / Как полужена плотность (d/dv / ПТФ)	Почвенный горизонт и/или глубина	Обучающая выборка / размер БД (число точек наблюдений)	Почвенная карта / Предикторы на основе модели SCORPAN	Использованные методы	Валидация карты / Оценки точности модели	Программное обеспечение	Ссылка на публикацию
АВСТРАЛИЯ											
4, 8, 12, 13	Австралия, Новый Южный Уэльс	Все типы землепользования	100 м	СПОУ	0–5 см, 5–15 см, 15–30 см, 30–60 см, 60–100 см	5386	С, О, R, 8 предикторов	MLR, Cubist, SVM	Из выборки: 70% — обучение, 30% — валидация R ² , RMSE, CCC	–	Somathath et al., 2016
7	Австралия, штат Новый Южный Уэльс	Кустарниковые заросли, редколесья, пастбища	30 м	СПОУ dv из мерена	0–5 см, 0–30 см	705	С, С, О, R, P 12 предикторов	RF, BRT, SVM	R ² , LCCC, RMSE, MAE	R, пакеты: «Random Forest» «gbm», «e1071»	Wang et al., 2018