

DOI 10.31509/2658-607x-202252-110  
УДК 911.8:911.9

## КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ НА ЛОКАЛЬНОМ УРОВНЕ: ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2022 г.

А. Н. Нарыкова, А. С. Плотникова

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН  
Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, стр. 14

E-mail: narykovaanna@yandex.ru

Поступила в редакцию: 20.06.2022

После рецензирования: 18.07.2022

Принята к печати: 18.08.2022

В связи с ростом антропогенной нагрузки на природные экосистемы у исследователей по всему миру вызвала интерес концепция экосистемных услуг (ЭУ). Смысл концепции заключается в учете функций естественных экосистем при принятии управленческих решений и обеспечении устойчивого природопользования. Картографирование предоставляемых экосистемами услуг имеет важное значение для их территориального представления, проведения пространственного анализа, динамического выявления изменений, исследования взаимоотношений между элементами экосистемы и т. д. Цель настоящей работы — обзор мировых литературных данных в области картографирования экосистемных услуг на локальном уровне. В статье подробно рассмотрены направления картографирования, типы используемых исходных данных, применяемые методы, а также география исследований. Выявлены группы услуг, которые представляют в настоящее время наибольший интерес для исследователей, в частности, 39% проанализированных работ посвящены картографированию регулирующих ЭУ. Представлены широко используемые исходные материалы — глобальные карты растительного покрова и землепользования. Среди методов оценки и картографирования ЭУ следует выделить построение регрессионных моделей и применение готовых наборов моделей, таких как InVEST, KINEROS и других. Как правило, объектами картографирования ЭУ на локальном уровне являются особо охраняемые природные территории, а также уязвимые горные, речные и прибрежные ландшафты. Картографирование экосистемных функций и услуг локальных объектов наиболее развито в европейских странах.

**Ключевые слова:** экосистемные функции и услуги, картографирование экосистемных услуг, пространственные данные, геопрограммное моделирование, локальный уровень

### КОНЦЕПЦИЯ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ

Возрастание численности населения Земли и, как следствие, антропогенной нагрузки на природные экосистемы, а также ограниченность ресурсов планеты обусловило создание и развитие концепции эко-

системных услуг (в оригинале — *ecological services*) (ЭУ).

Суть концепции заключается в учете широкого спектра функций природного капитала в процессах принятия решений

и обеспечения устойчивого природопользования в целях противодействия деградации естественных условий жизни (Тихонова, 2018). Как отмечает Т. В. Тихонова, концепции ЭУ присущи междисциплинарный характер и отражение экологических и социально-экономических аспектов.

Для определения термина экосистемных услуг необходимо понимание протекающих в экосистеме физических, биологических и химических процессов, в частности разложение органики, цикл азота, производство первичной продукции и др. Совокупность подобных процессов, которые поддерживают целостность и сохранение экосистем, принято называть экосистемными функциями (Ansink et al., 2008). В свою очередь, функции экосистемы определяют возможность предоставления ею услуг. Под экосистемными услугами подразумеваются выгоды, получаемые людьми от экосистем (МЕА, 2005). Известны и другие определения ЭУ: польза, которую человек получает от функционирования природных экосистем (Букварёва, Замолодчиков, 2016); совокупность материальных (топливо, чистая пресная вода, продукты питания и др.) и нематериальных (регулирование климата, контроль эрозии и наводнений, круговорот питательных веществ в природе и др.) благ, получаемых обществом от экосистем (Лелькова, Пакина, 2020). Таким образом, ЭУ понимаются как вклад функций экосистем в благосостояние человека в сочетании с другими факторами (Бобылев, Захаров, 2009).

### **Классификация экосистемных услуг**

Существует несколько классификаций экосистемных услуг. Национальная стратегия сохранения биоразнообразия России (Национальная стратегия ..., 2002) выделяет 4 группы ресурсных функций биоразнообразия, необходимых для поддержания жизни на планете: продукционные (создание биологической продукции); средообразующие (поддержание биосферных процессов на Земле); информационные (информация о структуре и функционировании экосистем) и духовно-эстетические (эстетическая ценность природы) (Павлов и др., 2009).

В соответствии с классификациями международного исследования «Экономика экосистем и биоразнообразия» (TEEB — The Economics of Ecosystems and Biodiversity) (The Economics ..., 2008), Европейского агентства по охране окружающей среды и доклада «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (МЕА, 2005) выделяется 4 основных группы экосистемных услуг (табл. 1, стр. 3).

### **Современные российские исследования по оценке ЭУ**

Тем или иным аспектам концепции экосистемных услуг посвящено множество научных публикаций во всем мире. Нельзя не отметить вклад отечественных ученых в развитие этого направления. Одной из первых публикаций по проведению денежной оценки экосистем является работа «Экономическая оценка биоразнообра-

**Таблица 1.** Классификация экосистемных услуг на основе доклада «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

Экосистемные услуги	Определение	Примеры ЭУ
Обеспечивающие	Обеспечение людей материальными благами и ресурсами, которые ими непосредственно используются	Пресная вода, древесина, производство продуктов питания, генетические ресурсы
Регулирующие	Различные механизмы регулирования экосистемами показателей окружающей среды, непосредственно значимых для благополучия человека	Регулирование климата, гидрологических процессов, эрозии, очистка воды
Культурные	Нематериальное обеспечение культурных, духовных и научных потребностей людей	Рекреация и природный туризм, эстетическое значение, культурное разнообразие, образование, духовные и религиозные ценности
Поддерживающие	Услуги, необходимые для производства всех других экосистемных услуг	Почвообразование, фотосинтез и круговорот питательных веществ

зия» С. Н. Бобылева и соавторов (Бобылев и др., 1999). Авторы изучили зарубежный опыт, подробно раскрыли подходы к определению экономической оценки биоразнообразия, а также определили экономическую ценность биоресурсов Москвы и Московской области.

Работы лаборатории биогеографии Института Географии РАН под руководством А. А. Тишкова посвящены оценкам, в том числе стоимостным, услуг природных экосистем степной зоны (Тишков, 2010). По мнению А. А. Тишкова, степная зона России не уступает бореальным лесам по предоставлению ЭУ. Публикации лаборатории освещают вопросы оценки услуг различных природных экосистем (Тишков и др., 2017, 2018).

Велик вклад Ю. Г. Пузаченко из Института проблем экологии и эволюции

им. А. Н. Северцова РАН в определение основ концепции устойчивого развития и экосистемных услуг (Пузаченко, 2012). Помимо теоретических вопросов концепции, Ю. Г. Пузаченко занимался картографированием услуг на глобальном, региональном и локальном уровнях. Ученый отмечал, что современные технические средства и теория оценки ЭУ позволяют отобразить в виде картографических материалов любые экосистемные услуги и оценить их возможный вклад.

В 2013 году группой авторов под редакцией Е. Н. Букваревой были опубликованы результаты проекта Центра охраны дикой природы «Экосистемные услуги наземных экосистем России: первые шаги» (Бобылев и др., 2013). Отчет по проекту содержит классификацию и краткую характеристику ЭУ, оценку современной

практики управления ЭУ, примеры проведенных экономических оценок услуг и др. В отчете представлены примеры карт, являющиеся источниками данных для оценки экосистемных услуг: атлас малонарушенных лесных территорий России 2002-го года (Аксенов и др. 2003), карта овражности России по данным Лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н. И. Маккавеева МГУ и другие. В 2015 году был подготовлен пятый национальный доклад «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации» (Сохранение биоразнообразия ..., 2015). Доклад являлся важным источником информации для промежуточного обзора результатов осуществления Стратегического плана в области сохранения и устойчивого использования биоразнообразия на 2011–2020 годы.

Современные российские исследователи занимаются различными вопросами оценки экосистемных услуг на местном уровне. Например, В. Г. Суховольский и соавторы в работе «Оценка и оптимизация экологических услуг насаждений как задача нелинейного программирования» оценивали одновозрастные сосновые насаждения, предоставляющие два вида экологических услуг: получение древесины и депонирование углерода (Суховольский и др., 2022). В. В. Киселевой и В. Л. Злобиной были проведены работы в одном из наиболее крупных ненарушенных природных массивов Московской области — национальном парке «Лосиный остров». Было оценено состояние природных вод

и сопряженных сред — гидроэкосистемы НП (Злобина, Киселева, 2008).

Среди отечественных публикаций выделим работы, в рамках которых были проведены литературные обзоры различных аспектов концепции экосистемных услуг. В 2015 г. Д. Е. Конюшков из Почвенного института им. В. В. Докучаева провел обзор зарубежных публикаций, посвященных проблеме выделения и оценке экосистемных услуг почв и их учету в планировании хозяйственной деятельности (Конюшков, 2015). Часть работы посвящена истории развития концепции, первым международным проектам (МЕА, 2005; ТЕЕВ (The Economics ..., 2008)) и национальным программам в зарубежных странах. Большое внимание уделено видам и методам экономической оценки ЭУ. Автор подчеркивает, что данное направление исследований по-прежнему очень молодо, и видит перспективы сотрудничества ученых различных специальностей.

Небольшой литературный обзор проведен Е. А. Истоминой и Н. М. Лужковой в рамках работы по картографированию ЭУ Забайкальского национального парка при планировании туристической деятельности (Истомина, Лужкова, 2017). Среди зарубежных публикаций приведены примеры картографирования охраняемых природных территорий Испании в целях выявления наиболее ценных экосистемных услуг для этих территорий (Palomo et al., 2013). Среди российских работ упомянуты исследования ООПТ Псковской,

Мурманской областей и ряда других регионов России. В рамках изучения современных методов оценки экосистемных услуг Т. В. Тихонова уделила внимание территориальному моделированию и картографированию экосистемных услуг (Тихонова, 2018). Кратко перечислены основные источники данных для картографирования ЭУ и приведены примеры научных работ.

### **Картографирование экосистемных услуг**

В тоже время следует отметить, что вопросам картографирования экосистемных услуг в российских публикациях долгое время не уделялось должного внимания. Картографирование ЭУ имеет важное значение для представления территориального размещения экосистемных услуг, возможности проведения пространственного анализа, динамического выявления изменений ЭУ, исследования взаимоотношений между элементами экосистемы и многое другое. Применение картографического метода целесообразно при решении достаточно широкого круга задач: от устойчивого управления природными ресурсами на определенной территории, исследования связей между биоразнообразием и экосистемными услугами, оценки запасов ЭУ, защиты окружающей среды, регулирования климата и гидрологического режима до экологического образования, планирования туристической деятельности (Burkhard, Maes, 2017).

В настоящее время карты экосистемных услуг создаются на глобальном (Naidoo et al., 2008), региональном (Egoh et al., 2008; Tallis, Polasky, 2009; Kroll et al., 2012; Elmhagen et al., 2015; Назаренко, Красноярова, 2018; Пакина и др., 2019 и др.) и локальном уровнях (Nelson et al., 2009; Felipe-Lucia et al., 2014; Hayha et al., 2015; Nedkov et al., 2015 и др.). В книге В. Burkhard и J. Maes «Mapping Ecosystem Services» (Burkhard, Maes, 2017) подробно рассмотрены теоретические, методические и практические вопросы картографирования ЭУ, а также приведены примеры зарубежных работ на различных пространственных уровнях.

**Целью** настоящей работы является проведение литературного обзора как отечественных, так и зарубежных научных публикаций для определения современного состояния исследований в области картографирования экосистемных услуг на локальном уровне. Под локальным уровнем картографирования подразумевается долина малой реки и водосборный бассейн, уязвимые ландшафты, ареалы кризисных ситуаций, особо охраняемые природные территории (ООПТ) в пределах одного-двух субъектов или провинций и др.

### **НАПРАВЛЕНИЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ**

Проведенный анализ современных научных исследований выявил пять на-

правлений картографирования ЭУ на локальном уровне: (1) эколого-экономическая оценка ЭУ (Науша et al., 2015; Груммо и др., 2016; Лелькова, Пакина, 2020; Козлов и др., 2021); (2) рациональное управление природными ресурсами и предоставление экосистемных услуг обществу (Заиканов и др., 2008; Willemen et al., 2010; Maes et al., 2012; Palomo et al., 2013; Felipe-Lucia et al., 2014; Nedkov et al., 2015); (3) определение запаса, потенциала конкретных территорий для предоставления ЭУ (García-Pausas et al., 2007; Deng et al., 2011; Pandey et al., 2020; Maes et al., 2012; Груммо и др., 2016a); (4) прогнозирование изменений в предоставлении услуг (деградация с/х земель, увеличение городского населения и т. д.), создание сценариев развития (Nelson et al., 2009; Felipe-Lucia et al., 2014; Bruno et al., 2021; Колычева, Чумаченко, 2021, 2022); (5) планирование туристско-рекреационной деятельности (Истомина и др., 2016; Истомина, Лужкова, 2017; Козлов и др., 2021).

### **1. Эколого-экономическая оценка ЭУ.**

Основной целью исследований Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси являлось определение экологических и экономических дивидендов от реализации мероприятий по оптимизации гидрологического режима верхового болота Ельня (Груммо и др., 2016). Объект исследования расположен в Витебской области Республики Беларусь. Авторы про-

вели расчеты стоимостной оценки ряда экосистемных услуг: урожайность и биологические запасы ягод клюквы болотной (Груммо и др., 2016a); объемы эмиссий и стоков парниковых газов, прогноз изменения их выбросов, монетизация дивидендов от сокращения эмиссий (Груммо и др., 2016b); водоочистительные функции болотных экосистем и запасы воды в торфе.

Сотрудниками географического факультета МГУ оценено 17 экосистемных услуг НП «Лосиный Остров» (все четыре группы ЭУ) для получения их общей экономической стоимости (Лелькова, Пакина, 2020). В результате работы составлена карта функциональных зон с преобладающими экосистемными услугами, дана оценка прямой и косвенной стоимости услуг. Авторы отмечают, что функции депонирования углерода и регулирования подземного стока выполняются на всей территории НП, независимо от принадлежности к функциональной зоне.

В 2021 году для грузинского национального парка «Колхети» осуществлялась эколого-экономическая оценка 25 экосистемных услуг в целях регламентирования хозяйственного использования НП и буферной зоны, оптимизации его природоохранной и рекреационной деятельности (Козлов и др., 2021). В результате работы была создана оценочная эколого-экономическая карта национального парка «Колхети», позволяющая выявить наиболее ценные участки парка для дальнейшей охраны их экосистем. По мнению

авторов, наивысшую удельную стоимость имеют болота и заболоченные земли, второе место — лесные участки НП за счет депонирования углерода, на которое приходится 44% от общей доли ЭУ в общей экономической стоимости НП.

Для территории двух речных долин Фьемме и Фасса (в англоязычных источниках — Fiemme и Fassa) в Доломитовых Альпах (провинция Трентино, Северная Италия) оценивалась общая экономическая ценность 12 экосистемных услуг. Авторы уделяют особое внимание лесным экосистемам, так как леса занимают более 54% исследуемой территории, из которых 24% относится к охраняемым лесам и 76% — к эксплуатационным (Наућа et al., 2015). В работе подчеркивается взаимосвязь ЭУ — при увеличении заготовки древесины и древесного топлива возможно сокращение числа выполняемых экосистемной функций и, как следствие, снижение числа предоставляемых услуг.

**2. Рациональное управление природными ресурсами и предоставление экосистемных услуг обществу.** Все четыре группы услуг (12 ЭУ) были рассмотрены для участков поймы реки Пьедра в центральной Испании для рационального управления земельными ресурсами и предоставления населению ЭУ (Felipe-Lucia et al., 2014). Исследовались тополиные рощи и прибрежные леса как уязвимые биотопы данной территории, отвечающие за регу-

лирование климата, газов, стабильности почвы и др.

В рамках международного проекта проводилось гидрологическое моделирование трех водосборных бассейнов на севере Болгарии (р. Малки Искар, Янтра и Видима, в англоязычных источниках — Malki Iskar, Yantra, Vidima) для выявления класса растительного покрова, предоставляющего экосистемную услугу — регулирование паводков. В результате моделирования были составлены карты для всех трех бассейнов, демонстрирующие спрос и предложение экосистемных услуг, регулирующих паводки. Авторы работы пришли к выводу, что лесные экосистемы имеют наивысшую способность предоставления данной услуги на территории трех речных бассейнов северной Болгарии (Nedkov et al., 2015).

В национальном парке «Лосиный остров» была проведена качественно-количественная комплексная оценка геоэкологической стабильности геосистем в целях определения оптимального режима использования территории Парка (Заиканов и др., 2008). В работе было выполнено картографирование НП — выделены 5 уровней стабильности геосистем; результаты сопоставлены с ранее проведенными работами.

**3. Определение запаса, потенциала конкретных территорий для предоставления ЭУ.** Следует отметить, что многие современные работы посвящены

картографированию климаторегулирующих экосистемных услуг лесов (ЛЭУ) — депонирование углерода, регулирование теплового, гидрологического режимов, потоков парниковых газов и др. (García-Pausas et al., 2007). Актуальность выбора этого направления картографирования обусловлена значительным вкладом лесных экосистем в депонирование углерода (Лукина, 2020). Ввиду происходящих климатических изменений (Mokhov et al., 2020) большое внимание уделяется циклу углерода, так как углекислый газ и метан относятся к парниковым газам, возрастание концентрации которых в атмосфере Земли способствует глобальному потеплению. Исследование S. Deng и соавторов (2011) содержит оценку поглощения и накопления углерода растительностью и лесными почвами. Оценка и картографирование запаса углерода на уровне отдельных деревьев выполнены в тропических лесах Индии (Pandey et al., 2020). Исследование направлено на оценку запасов биомассы и углерода путем определения горизонтальной проекции кроны деревьев.

**4. Прогнозирование изменений в предоставлении услуг, создание сценариев развития.** Работа Nelson et al. (2009) посвящена прогнозированию предоставления нескольких экосистемных услуг в бассейне реки Орегон с учетом трех сценариев развития. На территории России приведем примеры использования долгосрочного имитационного моделирования ряда обе-

спечивающих ЭУ Паше-Капецкого участка лесничества (Колычева, Чумаченко, 2021, 2022). Была исследована динамика урожая лесных ягод в процессе развития древесных пород при разных сценариях многоцелевого лесопользования.

**5. Планирование туристско-рекреационной деятельности.** В исследовании Е. А. Истоминой и Н. М. Лужковой (2017) оцениваются три категории экосистемных услуг, в т. ч. регулирующие, для различных участков территории «Заповедное Подлесье» при планировании туристической деятельности. На объекте исследования преобладающим типом растительного покрова являются хвойные леса, значительная часть охраняемой территории заболочена. Для оценки и картографирования ЛЭУ используется матрица, состоящая из 31 критерия, на основе которой создана карта экологической целостности и оценочные карты по каждой категории ЭУ (Истомина, Лужкова, 2017).

Согласно обзору Т. В. Тихоновой, наиболее часто составляются карты прямых натуральных услуг, реже их сочетаний (Тихонова, 2018). Настоящий обзор показал, что многие работы по картографированию ЭУ локального уровня направлены на оценку комплекса экосистемных услуг (Chan et al., 2006; Nelson et al., 2009; Palomo et al., 2013; Felipe-Lucia et al., 2014; Nayha et al., 2015; Истомина, Лужкова, 2017; Лелькова, Пакина, 2020; Козлов и др., 2021; Bruno et al., 2021). Реже на локальном



уровне встречаются исследования, посвященные картографированию одной услуги (Garcia-Pausas et al., 2007; Nedkov et al., 2015; Истомина и др., 2016).

Малочисленны научные публикации, описывающие картографирование поддерживающих экосистемных услуг, например опыление сельскохозяйственных культур (Chan et al., 2006) и поддержание качества среды обитания (Felipe-Lucia et al., 2014). Как правило, картографирование поддерживающих услуг выполняется совместно с остальными группами ЭУ.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для оценки и картографирования экосистемных услуг на локальном уровне исследователи используют достаточно разнородные исходные данные (табл. 2, стр. 29). В работе M. R. Felipe-Lucia и соавторов (Felipe-Lucia et al., 2014) представлен небольшой анализ наиболее популярных используемых источников данных для оценки экосистемных услуг. Среди публикаций, которые вошли в настоящий обзор, не все уделяют внимание описанию используемых данных. Тем не менее, проведенный анализ публикаций позволил выделить основные типы исходных данных для картографирования ЭУ.

Одним из наиболее часто используемых в качестве исходных данных источников являются **карты растительного покрова и землепользования**. Пространственной единицей картографирования

ЭУ в подобных исследованиях является класс растительного покрова или землепользования (Nelson et al., 2009; Willemen et al., 2010; Deng et al., 2011; Kroll et al., 2012; Felipe-Lucia et al., 2014; Nedkov et al., 2015; Vanteeva, Solodyankina, 2015; Bruno et al., 2021). Среди работ по картографированию ЭУ локальных объектов на территории стран Европы наиболее популярным продуктом является векторный набор данных CORINE Land Cover (Coordination of information on the environment) — Европейская классификация ландшафтного покрова (Deng et al., 2011; Kroll et al., 2012; Nedkov et al., 2015; Bruno et al., 2021). CORINE Land Cover состоит из 44 классов растительного покрова и землепользования (Bossard et al., 2000). Информация обновляется каждые 6 лет, следовательно, на сегодняшний день есть данные на 1990, 2000, 2006, 2012, 2018 гг. Классификация растительного покрова выполнена на основе различных спутниковых данных, в зависимости от года получения информации. На территории России также есть работы по картографированию ЭУ на основе карт растительного покрова (Vanteeva, Solodyankina, 2015; Истомина, Лужкова, 2017).

Следующим типом исходных данных являются **спутниковые** — космические снимки высокого и сверхвысокого пространственного разрешения: Landsat (Nedkov et al., 2015; Истомина, Лужкова, 2017); SPOT (Deng et al., 2011; Vanteeva, Solodyankina, 2015); WorldView-2 (Pandey

et al., 2020) и другие (Лелькова, Пакина, 2020; Козлов и др., 2021). Также при картографировании ЭУ применяются **ортофотопланы**, полученные на основе изображений с пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов (Nedkov et al., 2015; Истомина и др. 2016); **цифровые модели рельефа** — AsterDEM (Истомина, Лужкова, 2017) и другие (Deng et al., 2011; Vanteeva, Solodyankina, 2015; Nedkov et al., 2015; Bruno et al., 2021); **топографические данные** (Willemen et al., 2010; Felipe-Lucia et al., 2014; Vanteeva, Solodyankina, 2015; Истомина и др., 2016; Истомина, Лужкова, 2017).

Большое количество авторов используют данные **полевых исследований** (Vanteeva, Solodyankina, 2015; Истомина и др., 2016; Истомина, Лужкова, 2017; Лелькова, Пакина, 2020; Felipe-Lucia et al., 2014; Pandey et al., 2020; Козлов и др., 2021). Как правило, под полевыми данными подразумевают геоботанические или комплексные ландшафтные описания ключевых участков исследуемой области (Истомина и др., 2016; Истомина, Лужкова, 2017). Также во время полевых работ может быть проведена экспертная оценка экосистемных услуг «на месте» (Истомина, Лужкова, 2017). Работа Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси основана на данных многолетних (2006–2015 гг.) полевых исследований (Груммо и др., 2016). Выделение категорий выполняемых экосистемных функций выполнялось на основе ценотического и то-

пологического анализа природных факторов, обуславливающих закономерности распределения растительных сообществ. Отметим, что все отечественные работы по картографированию ЭУ, вошедшие в настоящий обзор, используют результаты полевых наблюдений.

При картографировании экосистемных услуг лесов находят применение **данные лесной таксации** (Deng et al., 2011; Науша et al., 2015; Истомина, Лужкова, 2017). Среди используемых исходных **данных о почвах** выделим SoilGrids, FAO/UNESCO и другие (Nedkov et al., 2015; Deng et al., 2011; Истомина и др. 2016; Bruno et al., 2021). И наконец, для картографирования ЭУ применяются **климатические данные** (Felipe-Lucia et al., 2014; Bruno et al., 2021); **кадастровые карты** (Vanteeva, Solodyankina, 2015); **национальные базы данных, статистическая информация, фондовые материалы** (Deng et al., 2011; Felipe-Lucia et al., 2014; Науша et al., 2015; Истомина и др., 2016; Груммо и др., 2016, 2016а, 2016б; Лелькова, Пакина, 2020; Козлов и др., 2021; Bruno et al., 2021) и **данные социологических опросов** (Лелькова, Пакина, 2020).

## МЕТОДЫ

Краткое описание используемых при картографировании экосистемных услуг методических подходов приведено в таблице 2 (стр. 29).

## 1. Моделирование

Отметим широкий спектр применения методов моделирования при оценке запасов и прогнозирования ЭУ, рациональном управлении природными ресурсами и решении ряда других задач (Garcia-Pausas et al., 2007; Nelson et al., 2009; Maes et al., 2012; Felipe-Lucia et al., 2014; Nedkov et al., 2015; Колычева, Чумаченко, 2021; Bruno et al., 2021). Многочисленны примеры привлечения регрессионного анализа для выявления отклика (экосистемной услуги) в зависимости от одной или нескольких независимых переменных — предикторов (Чертко, Карпиченко, 2009; Горшков, 2010; Суховольский и др., 2022). Подобный подход позволяет исследовать пространственные отношения предикторов и выявлять наиболее значимые из них для той или иной ЭУ. Так, для определения запаса углерода в минеральных горизонтах почв субальпийских и альпийских лугов объекта исследования в Пиренеях был проведен множественный регрессионный анализ (Garcia-Pausas et al., 2007).

В двух зарубежных работах (Felipe-Lucia et al., 2014; Bruno et al., 2021) для прогнозирования и составления сценариев изменения землепользования применялись обобщенные аддитивные смешанные модели (Generalized Additive Mixed Models — GAMM) и линейные смешанные модели (Linear mixed-effect models). GAMM был выбран среди других регрессионных методов за счет работы с нелинейными

отношениями между откликом, предиктором и временным рядом.

При картографировании экосистемных функций и услуг также используются существующие модели. В качестве примера приведем исследование (Nedkov et al., 2015) по оценке предоставления услуг по регулированию водного стока для различных классов растительного покрова в пределах трех водоразделов рек Болгарии. Авторами была использована гидрологическая модель KINEROS (Kinematic runoff and erosion model), с помощью которой удалось сгенерировать параметры оценки показателей ЭУ, связанных с водными объектами. Модель была апробирована с привлечением различных тематических данных: ЦМР, почвенные характеристики, геопространственный продукт CORINE Land Cover, спутниковые снимки Landsat и др. Широкое применение в современных научных исследованиях по прогнозируемому моделированию экосистемных функций и услуг находит набор моделей InVEST — Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (Nelson et al., 2009). Российская имитационная модель прогноза динамики основных таксационных показателей разновозрастных многовидовых насаждений FORRUS-S (FORest of RUSsia — Stand) предназначена для моделирования и анализа динамических процессов, протекающих в лесах при разных сценариях многоцелевого лесопользования (Чумаченко, 1993; Chumachenko et al.,

2003). Использование FORRUS-S позволило выполнить анализ многолетней динамики ряда недревесных лесных ресурсов (Колычева, Чумаченко, 2021, 2022).

## 2. Экспертные оценки

В рассмотренных публикациях помимо моделирования применялись и другие методические подходы: использование оценочных матриц экосистемных услуг (Burkhard et al., 2009; Vanteeva, Solodyanikina, 2015; Истомина, Лужкова, 2017) и анкетирование (Palomo et al., 2013). В работе Burkhard et al. (2009) с помощью оценочной матрицы был выполнен анализ возможностей предоставления ЭУ различными типами растительного покрова. Способность типов растительности предоставлять экосистемные услуги оценивалась в баллах на основе экспертной оценки — от 0 (полное отсутствие способности) до 5 (максимальная способность). По мнению авторов, оценочная матрица является универсальным способом оценки ЭУ в Европейских странах, с ее помощью возможно выявить закономерности между типом растительного покрова и его способностью обеспечивать людей услугами. Метод анкетирования также использовался для выявления наиболее ценных экосистемных услуг национальных парков (Palomo et al., 2013). Эксперты и работники особо охраняемых природных территорий заполняли индивидуальные анкеты, призванные обнаружить «горячие» точки (в оригинале — hotspots) предоставления ЭУ.

В работах ряда современных авторов можно найти подтверждение достаточно широкому распространению в настоящее время экспертных оценок. В частности, В. Г. Суховольский и соавторы указывают на преобладание при анализе ЭУ вербальных методов и экспертных оценок (Суховольский и др., 2022).

## 3. Другие методические подходы

В работе Pandey et al. (2020) при картографировании ЭУ использовалась многоуровневая сегментация изображений методом OBIA (Object-Based Image Analysis), проведенная на основе критерия локальной однородности спектральных значений и формы сегментов. Далее выполнялась классификация деревьев по двум видам — тектона великая (*Tectona grandis*) и шоррея исполинская (*Shorea robusta*) — с использованием функций принадлежности на основе пороговых значений индекса NDVI. По результатам полевых исследований установлена взаимосвязь между запасами углерода и площадью проекции кроны для ряда пород деревьев посредством построения нелинейной регрессионной модели. На основе установленных соотношений и классификации древесных видов получена карта запаса углерода отдельных деревьев.

Используемые Институтом экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купровича НАН Беларуси для оценки стоимости экосистемных услуг методы основаны на Техническом кодексе установившейся

практики «Порядок определения стоимостной оценки экосистемных услуг и биологического разнообразия». Интегральная стоимостная оценка услуг территории исследования рассчитывалась для двух типов природных экосистем: болотных и водных. В соответствии с применяемым методом интегральная стоимостная оценка ЭУ определяется в зависимости от текущей (ежегодной) оценки и занимаемой этим типом экосистемы площади территории.

## ГЕОГРАФИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках проведенного обзора были изучены как российские, так и зарубежные научные работы по картографированию экосистемных услуг, объектами исследования которых выступали локальные территории (рис. 1). К настоящему времени направление оценки и картографирования ЭУ на локальном уровне получило наибольшее развитие в странах Западной Европы (Испания, Италия, Португалия и др.), ранее об этом упоми-



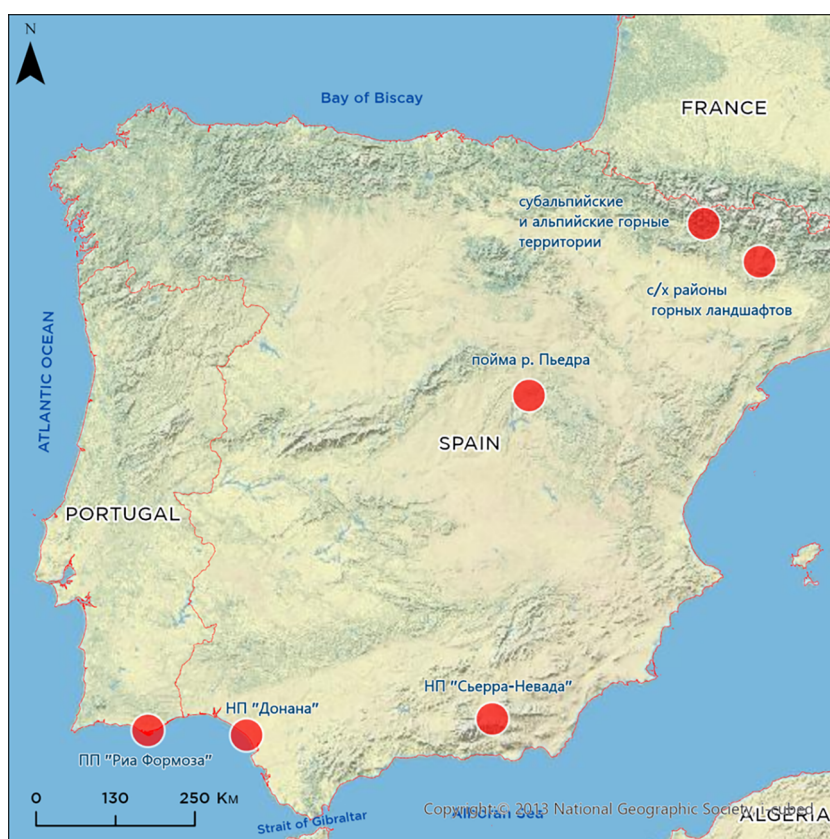
Рисунок 1. Объекты картографирования экосистемных услуг локального уровня, включенные в обзор

нал Д. Е. Конюшков в своем обзоре зарубежных публикаций (Конюшков, 2015). Большое число научных работ посвящено картографированию ЭУ на региональном, национальном и глобальном уровнях, анализ которых требует проведения отдельного исследования.

Несмотря на то, что изученные в настоящем обзоре исследования не охватывают территории Южной Америки, Африки и Австралии, можно сделать предварительные выводы о приуроченности объектов картографирования ЭУ на локальном уровне. Оценка и картографирование экосистемных услуг актуальны для особо охраняемых природных территорий и уязвимых ландшаф-

тов с высокой антропогенной нагрузкой — агроэкосистемы пойм крупных рек и горных территорий. Так, на территории России исследования были проведены в границах НП «Лосиный остров», НП «Забайкальский», ФГБУ «Заповедное Подлеморье», а также степных и лесостепных ландшафтов Приольхонья.

Рассмотрим наиболее характерные объекты картографирования ЭУ локального уровня в пределах Испании и Португалии (рис. 2). Южные объекты исследований располагаются в границах национальных и природных парков, а также их буферных зон. Авторы работ подчеркивают важность



**Рисунок 2.** Наиболее характерные объекты картографирования ЭУ на локальном уровне на примере Испании и Португалии

изучения экосистемных услуг ООПТ для дальнейшего принятия управленческих решений, связанных с сохранением естественных экосистем и регулированием туристической деятельности (Palomo et al., 2013). На юге Испании были изучены два геоморфологически разных типа охраняемых территорий. НП «Донана» расположен в дельте реки Гвадалквивир, являющейся одним из главных источников водных ресурсов юго-западной Испании. НП «Сьерра-Невада», наоборот, организован в горной системе Кордильера-Бетика с абсолютными высотами от 1000 до 2383 м. Обе территории требуют особой охраны ввиду сильной уязвимости к антропогенной деятельности: участок бассейна чувствителен к преобразованиям выше по течению реки (сельское хозяйство и др.), а горные территории уникальны природными экосистемами и протекающими в них процессами. В природном парке «Риа Формоза» на юге Португалии крайне популярна туристическая деятельность, которая требует обязательного планирования для сохранения природных экосистем и биоразнообразия животных (Истомина и др., 2016).

В Центральной Испании и на севере страны проведены аналогичные исследования агроэкосистем (Felipe-Lucia et al., 2014; Bruno et al., 2021) и горных территорий (Garcia-Pausas et al., 2007). Участок поймы реки Пьедра предоставляет обеспечивающие ЭУ — возможность возделывать различные сельскохозяйственные культуры — от зерновых в верхней части поймы до плодовых насаждений в нижней (Felipe-Lucia

et al., 2014). Также была проведена оценка экосистемных услуг в трех сельских районах Арагона с целью выявления изменений ЭУ с уменьшением численности населения (Bruno et al., 2021).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный обзор отечественных и зарубежных научных публикаций позволил оценить современное состояние исследований по картографированию экосистемных услуг на локальном уровне. Были определены направления картографирования, изучены используемые исходные данные и применяемые методы, а также география объектов исследования. Выявлены группы услуг, которые представляют в настоящее время наибольший интерес для исследователей. Как правило, в границах объектов исследования картографируют комплекс экосистемных услуг, реже работы посвящены одной или двум услугам. Среди рассмотренных работ 39% посвящены картографированию регулирующих ЭУ: регулирование климата, депонирование углерода в лесной растительности и почвах, защита от наводнений, стабильность почвы. Картографирование обеспечивающих и культурных услуг было отражено в 28% и 23% работ соответственно. Значительно меньшее число исследований включало картографирование поддерживающих ЭУ (10%).

Среди исходных данных картографирования ЭУ в зарубежных работах широко

применяются глобальные карты растительного покрова и землепользования. На территории России используют подобные карты национального или регионального уровня либо карты непосредственно изучаемого объекта. Результаты полевых исследований чаще находят применение при картографировании ЭУ в отечественных работах. Кроме того, исходными данными служат космические снимки высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, цифровые модели рельефа и ортофотопланы, топографические и кадастровые карты, данные о климате и почве, статистическая информация и результаты социологических опросов.

При описании методов оценки и картографирования ЭУ на локальном уровне следует выделить моделирование. Исследователи применяют различные методы регрессионного моделирования либо готовые наборы моделей для исследования и прогнозирования пространственных взаимоотношений, такие как InVEST, KINEROS, FORRUS-S. Помимо моделирования применяются экспертные оценки, включающие составление оценочных матриц и анкетирование.

Картографирование экосистемных функций и услуг локальных объектов наиболее развито в Европейских странах. Объектами исследований становятся особо ох-

раняемые природные территории, а также уязвимые горные, речные и прибрежные экосистемы. Работы по картографированию ЭУ на территории России не столь многочисленны и также приурочены к ООПТ.

Картографирование экосистемных услуг ООПТ и уязвимых ландшафтов имеет немаловажное практическое значение. Знание наиболее ценных экосистемных функций и услуг предоставляет возможность планирования рационального управления территорией и туристско-рекреационной деятельности. Так, ряд проанализированных работ был направлен на выявление участков с доминированием культурных ЭУ — развития туризма и рекреации (Vanteeva, Solodyankina, 2015; Истомина, Лужкова, 2017; Лелькова, Пакина, 2020).

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦЭПЛ РАН (Регистрационный номер 1022090800034-7-1.6.19) в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации № 2515-р от 2 сентября 2022 г. в целях реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения, направленного на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксенов Д. Е., Добрынин Д. В., Дубинин М. Ю., Егоров А. В., Исаев А. С. ..., & Ярошенко А. Ю. Атлас малонарушенных лесных территорий России. М.: МСоЭС; Вашингтон: World Resources Inst. 2003. 187 с.
- Бобылев С. Н., Букварева Е. Н., Грабовский В. И., Данилкин А. А., Дзгебуадзе Ю. Ю., ..., & Хорошев А. В. Экосистемные услуги наземных экосистем России: первые шаги. Status Quo Report. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2013. 45 с.
- Бобылев С. Н., Захаров В. М. Экосистемные услуги и экономика. М.: ООО «Типография ЛЕВКО». Институт устойчивого развития. Центр экологической политики России. 2009. 72 с.
- Бобылев С. Н., Медведева О. Е., Сидоренко В. Н., Соловьева С. В., Стеценко А. В., Жушев А. В. Экономическая оценка биоразнообразия. М.: 1999. 112 с.
- Букварёва Е. Н., Замолодчиков Д. Г. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Том 1. Услуги наземных экосистем. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы. 2016. 148 с.
- Горшков М. В. Экологический мониторинг: Учебное пособие. Владивосток: Изд-во ТГЭУ. 2010. 313 с.
- Груммо Д. Г., Зеленкевич Н. А., Созинов О. В., Мойсейчик Е. В. Эколого-экономическая оценка экосистемных услуг при оптимизации гидрологического режима верхового болота Ельня (Беларусь) // Социально-экологические технологии. 2016. № 1. С. 57–66.
- Груммо Д. Г., Зеленкевич Н. А., Созинов О. В., Мойсейчик Е. В. Оценка эффектов восстановления гидрологического режима верхового болота Ельня (Беларусь) для биологического разнообразия и ресурсов ягод // Социально-экологические технологии. 2016а. № 3. С. 5–19.
- Груммо Д. Г., Зеленкевич Н. А., Созинов О. В., Мойсейчик Е. В. Объемы выбросов и стоки парниковых газов при оптимизации гидрологического режима верхового болота «Ельня» (Беларусь) // Социально-экологические технологии. 2016б. № 2. С. 51–61.
- Заиканов В. Г., Киселева В. В., Сависько И. С. Определение оптимального режима использования территории национального парка «Лосиный остров» на основе геоэкологической оценки // Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: ГЕОС. 2008. 526 с.
- Злобина В. Л., Киселева В. В. Состояние гидроэкосистемы национального парка «Лосиный остров» // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 1. С. 81–87.
- Истомина Е. А., Лужкова Н. М. Картографирование экосистемных услуг в Забайкальском национальном парке // Геодезия и картография. 2017. Т. 78. № 7. С. 59–67.
- Истомина Е. А., Лужкова Н. М., Хидекель В. В. Планирование инфраструктуры бердвотчингового туризма природного парка «Риа Формоза» (Португалия)

- методом ландшафтно-интерпретационного картографирования // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 182–190.
- Козлов С. М., Красовская Т. М., Гордезиани Т. П., Маглакелидзе Р. В.* Картографирование экосистемных услуг национального парка Колхети (Грузия) на основе их эколого-экономической оценки // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27. № 1. С. 112–125.
- Колычева А. А., Чумаченко С. И.* Оценка урожайности лесных ягод с учетом уровня освещенности напочвенного покрова методами имитационного моделирования // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4. № 3. С. 87–113.
- Колычева А. А., Чумаченко С. И.* Потенциал урожая черники, брусники, малины с учетом особенностей участка и сценария ведения лесного хозяйства // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН. М.: ЦЭПЛ РАН, 2022. 335 с.
- Конюшков Д. Е.* Формирование и развитие концепции экосистемных услуг: обзор зарубежных публикаций // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2015. Вып. 80. С. 26–49.
- Лелькова А. К., Пакина А. А.* Оценка экосистемных функций национального парка «Лосиный остров» // Экосистемы: экология и динамика. 2020. Т. 4. № 3. С. 166–179.
- Назаренко А. Е., Красноярова Б. А.* Оценка потенциала обеспечивающих экосистемных услуг муниципальных районов Алтайского края. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (161). С. 42–50.
- Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н. И. Маккавеева МГУ. URL: <http://makkaveev-lab.narod.ru/> (дата обращения 01.04.2022).
- Национальная стратегия сохранения биоразнообразия России. М.: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. 2002. 129 с.
- Оценка экосистем на пороге тысячелетия. Экосистемы и благосостояние человека. Синтез, Island Press, 2005. 154 с.
- Павлов Д. С., Стриганова Б. Р., Букварева Е. Н., Дгебуадзе Ю. Ю.* Сохранение биологического разнообразия как условие устойчивого развития. М.: ООО «Типография ЛЕВКО»; Институт устойчивого развития/ Центр экологической политики России. 2009. 84 с.
- Пакина А. А., Тульская Н. И., Карнаушенко А. А.* Эколого-экономическое картографирование Республики Татарстан // Геодезия и картография. 2019. № 1. С. 146–155.
- Пузаченко Ю. Г.* Экосистемные услуги: оценка и картографирование. Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Се-

- верцова РАН. 2012. URL: [http://www.sevin.ru/ecosys\\_services/](http://www.sevin.ru/ecosys_services/) (дата обращения 01.04.2022).
- Пятый национальный доклад «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации». М.: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2015, 124 с.
- Суховольский В. Г., Иванова Ю. Д., Ковалев А. В. Оценка и оптимизация экологических услуг насаждений как задача нелинейного программирования // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН. М: ЦЭПЛ РАН, 2022. 335 с.
- Тихонова Т. В. Современные методы оценки экосистемных услуг и потенциал их применения на практике // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2018. № 4 (36). С. 122–135.
- Тишков А. А. Биосферные функции и экосистемные услуги ландшафтов степной зоны России // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 1 (41). С. 5–15.
- Тишков А. А., Белоновская Е. А., Кренке А. Н., Царевская Н. Г. Экосистемные услуги национальных парков и заповедников: оценка, сопоставление, выявление конфликтов при пользовании // Материалы меж. конф., Геоэкологические проблемы степных регионов. Институт степи Уральского отделения РАН, 2017. С. 60–70.
- Тишков А. А., Белоновская Е. А., Царевская Н. Г. Экосистемные услуги национального парка Валдайский: вклад в экологическое состояние Верхней Волги // Материалы межд. конф., приуроченной к 35-летию Института экологии Волжского бассейна РАН и 65-летию Куйбышевской биостанции, 2018. С. 293–295.
- Чертко Н. К., Карпиченко А. А. Математические методы в географии. Минск: БГУ. 2009. 199 с.
- Чумаченко С. И. Базовая модель динамики многовидового разновозрастного лесного ценоза // В науч. тр. МЛТИ: Вопросы экологии и моделирования лесных экосистем. 1993. С.147–180.
- Ansink E., Hein L., Hasund K. P. To value functions or services? An analysis of ecosystem valuation approaches // Environmental Values. 2008. Vol. 17. No 4. P. 489–503.
- Bossard M., Feranec J., Otahel J. CORINE Land Cover Technical Guide — Addendum 2000. Technical report No 40. European Environment Agency, 2000. URL: [http:// clck.ru/32XDC3](http://clck.ru/32XDC3) (дата обращения: 15.03.2022).
- Bruno D., Sorando R., Alvarez-Farizo B., Castellano C., Cespedes V., ..., & Comin F. Depopulation impacts on ecosystem services in Mediterranean rural areas // Ecosystem Services. 2021. Vol. 52. Article 101369.
- Burkhard B., Kroll F., Müller F. Windhorst W. Landscapes' Capacities to Provide Ecosystem Services — a Concept for Land-

- Cover Based Assessments // Landscape Online. 2009. No 15. P. 1–22.
- Burkhard B., Maes J.* Mapping Ecosystem Services. Sofia: Pensoft Publishers. 2017. P. 374.
- Chan K. M. A., Shaw M. R., Cameron D. R., Underwood E. C., Daily G. C.* Conservation planning for ecosystem services // PLoS Biology. 2006. Vol. 4. No 11. P. 2138–2152.
- Chumachenko S. I., Korotkov V. N., Palenova M. M., Politov D. V.* Simulation modelling of long-term stand dynamics at different scenarios of forest management for coniferous-broad-leaved forests // Ecological Modelling. 2003. Vol. 170. No 2–3. P. 345–361.
- Deng S., Shi Y., Jin Y., Wang L.* A GIS-based approach for quantifying and mapping carbon sink and stock values of forest ecosystem: A case study // Energy Procedia. 2011. Vol. 5. P. 1535–1545.
- Egoh B., Reyers B., Rouget M., Richardson D., Le Maitre D., van Jaarsveld A.* Mapping ecosystem services for planning and management // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2008. Vol. 127. P. 135–140.
- Elmhagen B., Destouni G., Angerbjorn A., Borgström S., Boyd E., ..., & Lindborg R.* Interacting effects of change in climate, human population, land use, and water use on biodiversity and ecosystem services // Ecology and Society. 2015. Vol. 20. No 1. Article 23.
- Felipe-Lucia M. R., Comin F. A., Bennett E. M.* Interactions among ecosystem services across land uses in a floodplain agroecosystem // Ecology and Society. 2014. Vol. 19. No 1. Article 20.
- Garcia-Pausas J., Casals P., Camarero L.* Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: effects of climate and topography // Biogeochemistry. February 2007. Vol. 82. No 3. P. 279–289.
- Hayha T., Franzese P. P., Paletto A., Fath B. D.* Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine forests // Ecosystem Services. 2015. Vol. 14. P. 12–23.
- Kroll F., Mullera F., Haaseb D., Fohrera N.* Rural–urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics // Land Use Policy. 2012. No 29. P. 521–535.
- Maes J., Egoh B., Willemen L., Lique C., Vihervaara P., ..., & Bidoglio G.* Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union // Ecosystem Services. 2012. Vol. 1. P. 31–39.
- Mokhov I. I., Chernockulsky A. V., Repina I. A.* Climate Change: Causes, Risks, Consequences, Problems of Adaptation and Management (CLIMATE-2019) // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2020, Vol. 606. No 1. DOI:10.1088/1755-1315/606/1/011001.
- MEA: Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being; Island Press: Washington, DC, USA, 2005. Vol. 5. URL: <http://www.millenniumassessment.org/en/Reports.aspx#> (April 12, 2022).
- Naidoo R., Balmford A., Costanza R., Fisher B., Green R. E., Lehner B., Malcolm T. R., Rick-*

- etts T. H. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2008. Vol. 105. No 28. P. 9495–9500.
- Nedkov S., Boyanova K., Burkhard B. Quantifying, Modelling and Mapping Ecosystem Services in Watersheds // Ecosystem Services and River Basin Ecohydrology. 2015. P. 133–149.
- Nelson E., Mendoza G., Regetz J., Polasky S., Tallis H., ..., & Shaw M. R. Modeling Multiple Ecosystem Services, Biodiversity Conservation, Commodity Production, and Tradeoffs at Landscape Scales // Frontiers in Ecology and the Environment. 2009. Vol. 7. No 1. P. 4–11.
- Palomo I., Martin-Lopez B., Potschin M., Haines-Young R., Montes C. National Parks, buffer zones and surrounding lands: Mapping ecosystem service flows // Ecosystem Services. 2013. Vol. 4. P. 104–116.
- Pandey S. K., Chand N., Nandy S., Muminov A., Sharma A., Ghosh S., Srinet R. High-Resolution Mapping of Forest Carbon Stock Using Object-Based Image Analysis (OBIA) Technique // Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 2020. Vol. 48. P. 865–875.
- Tallis H., Polasky S. Mapping and Valuing Ecosystem Services as an Approach for Conservation and Natural-Resource Management // Annals of the New York Academy of Sciences. 2009. Vol. 1162. P. 265–283.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity, TEEB. 2008. URL: <http://www.teebweb.org> (дата обращения 25.02.2022).
- Vanteeva J. V., Solodyankina S. V. Ecosystem Functions of Steppe Lands Capes Near Lake Baikal // Hacquetia. 2015. Vol. 14. No 1. P. 65–78.
- Willemen L., Hein L., Mensvoort M., Verburg P. Space for people, plants, and livestock? Quantifying interactions among multiple landscape functions in a Dutch rural region // Ecological Indicators. 2010. Vol. 10. P. 62–73.

## REFERENCES

- Aksenov D. E., Dobrynin D. V., Dubinin M. Yu., Egorov A. V., Isaev A. S. ..., & Yaroshenko A. Yu., *Atlas malonarushennyh lesnyh territorij Rossii* (Atlas of Intact Forest Territories of Russia), Moscow: MSoES; Washington: World Resources Inst., 2003. 187 p.
- Ansink E., Hein L., Hasund K. P., To value functions or services? An analysis of ecosystem valuation approaches, *Environmental Values*, 2008, Vol. 17, No 4, pp. 489–503.
- Bobylev S. N., Bukvareva E. N., Grabovskij V. I., Danilkin A. A., Dgebuadze Yu. Yu., ..., & Horoshev A. V., *Ekosistemnye uslugi nazemnyh ekosistem Rossii: pervye shagi. Status Quo Report*. (Ecosystem services of terrestrial ecosystems in Russia: first steps. Status Quo Report), Moscow: Izd-vo Centra ohrany dikoj prirody, 2013. 45 p.
- Bobylev S. N., Medvedeva O. E., Sidorenko V. N., Solov'eva S. V., Stecenko A. V., Zhushhev A. V., *Ekonomicheskaya ocenka bioraznoobraziya* (Economic valuation of biodiversity). Moscow, 1999. 112 p.

- Bobylev S. N., Zaharov V. M., *Ekosistemnye uslugi i ekonomika* (Ecosystem services and economics), Moscow: "Tipografiya LEV-KO". Institut ustoichivogo razvitiya. Centr ekologicheskoi politiki Rossii, 2009. 72 p.
- Bossard M., Feranec J., Otahel J., *CORINE Land Cover Technical Guide Addendum — 2000*, Technical report No 40, European Environment Agency, 2000, available at: [http:// clck.ru/32XDC3](http://clck.ru/32XDC3) (2022, 03 March).
- Bruno D., Sorando R., Alvarez-Farizoa B., Castellano C., Cespedes V. ..., & Comin F., Depopulation impacts on ecosystem services in Mediterranean rural areas, *Ecosystem Services*, 2021, Vol. 52, Article 101369.
- Bukvaryova E. N., Zamolodchikov D. G., *Ekosistemnye uslugi Rossii: Prototip nacional'nogo doklada. Uslugi nazemnyh ekosistem* (Ecosystem services in Russia: Prototype of the national report. Terrestrial Ecosystem Services), Moscow: Izd-vo Centra ohrany dikoj prirody, 2016. 148 p.
- Burkhard B., Kroll F., Muller F. Windhorst W. Landscapes' Capacities to Provide Ecosystem Services — a Concept for Land-Cover Based Assessments, *Landscape Online*, 2009, No 15, pp. 1–22.
- Burkhard B., Maes J., *Mapping Ecosystem Services*. Sofia: Pensoft Publishers, 2017, 374 p.
- Chan K. M. A., Shaw M. R., Cameron D. R., Underwood E. C., Daily G. C., Conservation planning for ecosystem services, *PLoS Biology*, 2006, Vol. 4, No 11, pp. 2138–2152.
- Chertko N. K., Karpichenko A. A., *Matematicheskie metody v geografii* (Mathematical Methods in Geography), Minsk: BGU, 2009, 199 p.
- Chumachenko S. I., Bazovaya model' dinamiki mnogovidovogo raznovozrastnogo lesnogo cenoza (Basic model of the dynamics of a multi-species forest cenosis of different ages), *Voprosy ekologii i modelirovaniya lesnyh ekosistem* (Questions of ecology and modeling of forest ecosystems), 1993, pp. 147–180.
- Chumachenko S. I., Korotkov V. N., Palenova M. M., Politov D. V., Simulation modelling of long-term stand dynamics at different scenarios of forest management for coniferous-broad-leaved forests, *Ecological Modelling*, 2003, Vol. 170, No 2–3, pp. 345–361.
- Deng S., Shi Y., Jin Y., Wang L., A GIS-based approach for quantifying and mapping carbon sink and stock values of forest ecosystem: A case study, *Energy Procedia*, 2011, Vol. 5, pp. 1535–1545.
- Egoh B., Reyers B., Rouget M., Richardson D., Le Maitre D., van Jaarsveld A., Mapping ecosystem services for planning and management, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2008, Vol. 127, pp. 135–140.
- Elmhagen B., Destouni G., Angerbjörn A., Borgström S., Boyd E., ..., & Lindborg R., Interacting effects of change in climate, human population, land use, and water

- use on biodiversity and ecosystem services, *Ecology and Society*, 2015, Vol. 20, No 1, Article 23.
- Felipe-Lucia M. R., Comin F. A., Bennett E. M., Interactions among ecosystem services across land uses in a floodplain agroecosystem, *Ecology and Society*, 2014, Vol. 19, No 1, Article 20.
- Garcia-Pausas J., Casals P., Camarero L., Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: effects of climate and topography, *Biogeochemistry*, February 2007, Vol. 82, No 3, pp. 279–289.
- Gorshkov M. V., *Ekologicheskij monitoring: Uchebnoe posobie* (Ecological monitoring: Textbook), Vladivostok: Izd-vo TGEU, 2010. 313 p.
- Grummo D. G., Zelenkevich N. A., Sozinov O. V., Mojsejchik E. V., Ekologo-ekonomicheskaya ocenka ekosistemnyh uslug pri optimizacii gidrologicheskogo rezhima verhovogo bolota El'nya (Belarus) (Ecological and economic evaluation of ecosystem services in the optimization of the hydrological regime of raised bogs "Yelnya" (Belarus)), *Social'no-ekologicheskije tekhnologii*, 2016, No 1, pp. 57–66.
- Grummo D. G., Zelenkevich N. A., Sozinov O. V., Mojsejchik E. V., Ocenka efektov vostanovleniya gidrologicheskogo rezhima verhovogo bolota El'nya (Belarus') dlya biologicheskogo raznoobraziya i resursov yagod (Evaluation for biodiversity and berries resources of effects recovery hydrological regime of raised bogs Yelnya (Belarus)), *Social'no-ekologicheskije tekhnologii*, 2016a, No 3, pp. 5–19.
- Grummo D. G., Zelenkevich N. A., Sozinov O. V., Mojsejchik E. V., Ob'emy vybrosov i stoki parnikovyh gazov pri optimizacii gidrologicheskogo rezhima verhovogo bolota "El'nya" (Belarus') (Volumes of emissions and sinks of greenhouse gases in the optimization of the hydrological regime of the raised bog "Yelnya" (Belarus)), *Social'no-ekologicheskije tekhnologii*, 2016b, No 2, pp. 51–61.
- Hayha T., Franzese P. P., Paletto A., Fath B. D., Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine forests, *Ecosystem Services*, 2015, Vol. 14, pp. 12–23.  
<http://makkaveev-lab.narod.ru/>, (2022, 1 April).
- Istomina E. A., Luzhkova N. M., Hidekel' V. V., Planirovanie infrastruktury berdvotchingovogo turizma prirodnogo parka "Ria Formoza" (Portugaliya) metodom landshaftno-interpretacionnogo kartografirovaniya (Planning the infrastructure of birdwatching tourism in the Ria Formosa Natural Park (Portugal) using the method of landscape-interpretive mapping), *Geografiya I prirodnye resursy*, 2016, No 55, pp. 182–190.
- Istomina E. A., Luzhkova N. M., Kartografirovanie ekosistemnyh uslug v zabajkalskom nacionalnom parke (Mapping of ecosystem services in the Zabaikalsky National Park), *Geodeziya I kartografiya*, 2017, Vol. 78, No 7, pp. 59–67.
- Kolycheva A. A., Chumachenko S. I., Ocenka urozhajnosti lesnyh yagod s uchetom

- urovnya osveshchennosti napochvennogo pokrova metodami imitacionnogo modelirovaniya (Estimation of the yield of wild berries taking into account the level of illumination of the ground cover by simulation methods), *Voprosy lesnoj nauki*, 2021, Vol. 4, No 3, pp. 87–113.
- Kolycheva A. A., Chumachenko S. I., Potencial urozhaya cherniki, brusniki, maliny s uchetom osobennostej uchastka i scenariya vedeniya lesnogo hozyajstva (The yield potential of blueberries, cranberries, raspberries, taking into account the characteristics of the site and the scenario of forestry), *Nauchnye osnovy ustojchivogo upravleniya lesami: Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* (Scientific basis for sustainable forest management: All-Russia scientific conference with international participation), Moscow, CEPF RAS, 2022, 335 p.
- Konyushkov D. E., Formirovanie i razvitie koncepcii ekosistemnyh uslug: obzor zarubezhnyh publikacij (The development of the concept of ecosystem services: a review of foreign publications), *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*, 2015, Issue 80, pp. 26–49.
- Kozlov S. M., Krasovskaya T. M., Gordeziani T. P., Maglakelidze R. V., Kartografirovanie ekosistemnyh uslug nacional'nogo parka Kolheti (Gruzija) na osnove ih ekologiko-ekonomicheskoy ocenki (Mapping of ecosystem services of the Kolkheti National Park (Georgia) based on their ecological and economic assessment), *InterKarto. InterGIS*, 2019, Vol. 27, No 1, pp. 112–125.
- Kroll F., Mullera F., Haaseb D., Fohrera N., Rural–urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics, *Land Use Policy*, 2012, No 29, pp. 521–535.
- Lel'kova A. K., Pakina A. A., Ocenka ekosistemnyh funkcii nacional'nogo parka "Losinyi ostrov" (Assessment of the ecosystem functions of the national park "Losiny Ostrov"), *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2021, Vol. 4, No 3, pp. 166–179.
- Maes J., Egoh B., Willemen L., Liqueste C., Vihervaara P., ..., & Bidoglio G., Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union, *Ecosystem Services*, 2012, Vol. 1, pp. 31–39.
- Mokhov I. I., Chernockulsky A. V., Repina I. A., Climate Change: Causes, Risks, Consequences, Problems of Adaptation and Management (CLIMATE-2019), *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2020, Vol. 606, No 1, DOI:10.1088/1755-1315/606/1/011001.
- MEA: *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being*, Washington, DC, USA: Island Press, 2005, Vol. 5, 155 p.
- Nacional'naya strategiya sohraneniya bioraznoobraziya Rossii* (National Biodiversity Strategy of Russia), Moscow: Ministerstvo prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii, 2002. 129 p.
- Naidoo R., Balmford A., Costanza R., Fisher B., Green R. E., Lehner B., Malcolm T. R., Rick-



- etts T. H., Global mapping of ecosystem services and conservation priorities, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, Vol. 105, No 28, pp. 9495–9500.
- Nazarenko A. E., Krasnoyarova B. A., Ocenka potenciala obespechivayushchih ekosistemnyh uslug municipal'nyh rajonov Altajskogo kraja (Assessment of the potential of municipal districts of the Altai Territory providing ecosystem services), *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, No 3, pp. 42–50.
- Nedkov S., Boyanova K., Burkhard B., Quantifying, Modelling and Mapping Ecosystem Services in Watersheds, *Ecosystem Services and River Basin Ecohydrology*, 2015, pp. 133–149.
- Nelson E., Mendoza G., Regetz J., Polasky S., Tallis H., ..., & Shaw M. R., Modeling Multiple Ecosystem Services, Biodiversity Conservation, Commodity Production, and Tradeoffs at Landscape Scales, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, Vol. 7, No 1, pp. 4–11.
- Ocenka ekosistem na poroge tysyacheletiya. Ekosistemy i blagosostoyanie cheloveka. Sintez* (Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being. Synthesis), Island Press, 2005. 154 p.
- Pakina A. A., Tul'skaya N. I., Karnaushenko A. A., Ekologo-ekonomicheskoe kartografirovanie Respubliki Tatarstan (Ecological and economic mapping of the Republic of Tatarstan), *Geodeziya i kartografiya*, 2019, No 1, pp. 146–155.
- Palomo I., Martín-Lopez B., Potschin M., Haines-Young R., Montes C., National Parks, buffer zones and surrounding lands: Mapping ecosystem service flows, *Ecosystem Services*, 2013, Vol. 4, pp. 104–116.
- Pandey S. K., Chand N., Nandy S., Muminov A., Sharma A., Ghosh S., Srinet R., High-Resolution Mapping of Forest Carbon Stock Using Object-Based Image Analysis (OBIA) Technique, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2020, Vol. 48, pp. 865–875.
- Pavlov D. S., Striganova B. R., Bukvareva E. N., Dgebuadze Yu. Yu., *Sohranenie biologicheskogo raznoobraziya kak uslovie ustojchivogo razvitiya* (Conservation of biological diversity as a condition for sustainable development), Moscow: "Tipografiya LEV-KO", Institut ustojchivogo razvitiya, Centr ekologicheskoy politiki Rossii, 2009, 84 p.
- Puzachenko Yu. G., *Ekosistemnye uslugi: ocenka i kartografirovanie* (Ecosystem Services: Assessment and Mapping), Institute of Problems of Ecology and Evolution. A. N. Severtsov RAS, 2012, available at: [http://www.sevin.ru/ecosys\\_services/](http://www.sevin.ru/ecosys_services/), (2022, 1 April).
- Pyatyj nacional'nyj doklad "Sohranenie bioraznoobraziya v Rossijskoj Federacii"* (5th national report "Conservation of biodiversity in the Russian Federation"), 2015, 124 p.
- Suhovol'skij V. G., Ivanova Yu. D., Kovalev A. V., Ocenka i optimizaciya ekologicheskikh uslug nasazhdenij kak zadacha nelinejnogo programmirovaniya (Evaluation

- and optimization of ecological services of tree stands as a nonlinear programming problem), *Nauchnye osnovy ustojchivogo upravleniya lesami: Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* (Scientific basis for sustainable forest management: All-Russia scientific conference with international participation), Moscow, CEPF RAS, 2022, 335 p.
- Tallis H., Polasky S., Mapping and Valuing Ecosystem Services as an Approach for Conservation and Natural-Resource Management, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2009, Vol. 1162, pp. 265–283.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity*, TEEB, 2008. available at: <http://www.teebweb.org> (2022, 15 March).
- Tihonova T. V., Sovremennye metody ocenki ekosistemnyh uslug i potencial ih primeneniya na praktike (Modern methods of assessment of ecosystem services and the potential for their practical application), *Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN*, 2018, No 4 (36), pp. 122–135.
- Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Carevskaya N. G., Ekosistemnye uslugi nacional'nogo parka Valdajskij: vklad v ekologicheskoe sostoyanie Verhnej Volgi (Ecosystem Services of the Valdaisky National Park: Contribution to the Ecological State of the Upper Volga), *Materialy mezhd. konf., priurochennoj k 35-letiyu Instituta ekologii Volzhskogo bassejna RAN i 65-letiyu Kuibyshevskoj biostancii* (Materials of the international conference, dedicated to the 35th anniversary of the Institute of Ecology of the Volga Basin RAS and the 65th anniversary of the Kuibyshev Biological Station), 2018, pp. 293–295.
- Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Krenke A. N., Carevskaya N. G., Ekosistemnye uslugi nacional'nyh parkov i zapovednikov: ocenka, sopostavlenie, vyyavlenie konfliktov pri pol'zovanii (Ecosystem services of national parks and reserves: assessment, comparison, identification of conflicts in use), *Materialy mezhd. konf., Geoekologicheskie problemy stepnyh regionov. Institut stepi Ural'skogo otdeleniya RAN* (Materials of the international conference, Geocological problems of the steppe regions. Steppe Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences), 2017, pp. 60–70.
- Tishkov A. A., Biosfernye funkicii i ekosistemnye uslugi landshaftov stepnoj zony Rossii (Biosphere functions and ecosystem services of the landscapes of the steppe zone of Russia), *Aridnye ekosistemy*, 2010, Vol. 16, No 1 (41), pp. 5–15.
- Vanteeva J. V., Solodyankina S. V., Ecosystem Functions of Steppe Lands Capes Near Lake Baikal, *Hacquetia*, 2015, Vol. 14, No 1, pp. 65–78.
- Willemsen L., Hein L., Mensvoort M., Verburg P., Space for people, plants, and livestock? Quantifying interactions among multiple landscape functions in a Dutch rural region, *Ecological Indicators*, 2010, Vol. 10, pp. 62–73.
- Zaikanov V. G., Kiseleva V. V., Savis'ko I. S., Opredelenie optimal'nogo rezhima ispol'

zovaniya territorii nacional'nogo parka "Losinyj ostrov" na osnove geoekologicheskoy ocenki (Determination of the optimal regime for the use of the territory of the Losiny Ostrov National Park based on a geoecological assessment), *Materialy godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii* (Materials of the

annual session of the Scientific Council RAS for the Problems in Environmental Geoscience, Engineering Geology and Hydrogeology), Moscow, 2008, p. 526.

Zlobina V. L., Kiseleva V. V., Sostoyanie gidroekosistemy nacional'nogo parka "Losinyj ostrov" (State of the hydroecosystem of the National Park "Losiny Ostrov"), *Vodnye resursy*, 2008, Vol. 35, No 1, pp. 81–87.

# MAPPING OF ECOSYSTEM SERVICES AT THE LOCAL LEVEL: A REVIEW OF THE CURRENT STATE OF RESEARCH

A. N. Narykova, A. S. Plotnikova

*Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS  
Profsoyuznaya st. 84/32 bldg. 14, Moscow, 117997, Russia*

E-mail: narykovaanna@yandex.ru

Received: 20.06.2022

Revised: 18.07.2022

Accepted: 18.08.2022

The concept of ecosystem services (ES) has aroused interest among researchers around the world with the growing anthropogenic pressure on natural ecosystems. The meaning of the concept is taking into consideration the ecosystem functions during making decisions and ensuring sustainable development. Mapping of ES is crucial for territorial representation of ecosystem services, spatial analysis, dynamic changes detection, relationships between ecosystem elements, etc. The goal of the study is to review global scientific literature of mapping ecosystem services at the local level. The paper describes the aims, input datasets, types of mapping, and methods of 19 scientific publications. A summary contains a brief description of the initial data and the methods used. Cartographic material has been prepared to show the research geography on a world map. The most popular groups of ecosystem services for scholars have been identified. More than 39% of the mapped ES belong to the regulating services. Global land cover and land use maps are often used as input data for modeling and mapping. Regression models and software-based models (InVEST, KINEROS, etc) are more frequent among the methods for the ES assessment and mapping. Specially protected natural areas, as well as vulnerable mountain, river, and coastal ecosystems are primary objects of research. The study of ES in Russia is also confined to protected areas. Mapping of ecosystem functions and services of local objects is mostly developed in European countries.

**Key words:** *ecosystem functions and services, mapping of ecosystem services, spatial data, geospatial modelling, local level*

**Рецензент:** к. б. н. Киселева В. В.

Таблица 2. Работы по картографированию экосистемных услуг на локальном уровне, рассмотренные в статье





№	Группы ЭУ	Кол-во ЭУ	Объект исследования, страна	Исходные данные	Методы	Приуроченность	Авторы
1		6	степи и лесостепи Приольхонья, Россия	полевые данные; карты растительного покрова и землепользования; ЦМР; топографические карты; кадастровая карта; спутниковые данные SPOT-4	оценочная матрица ЭУ со шкалой от 0 до 5	озеро Байкал, высокое антропогенное воздействие (туристическая деятельность)	Vanteeva, Solodyan-kina, 2015
2		31	Забайкальский НП, Россия	полевые исследования; литературные сведения; лесотаксационные данные; космические снимки Landsat; ЦМР AsterDEM; топографические, геоботанические и ландшафтные карты	оценочная матрица ЭУ из 31 критерия, которая содержит для каждого типа растительного покрова оценку различных услуг в баллах: от 0 до 5	ООПТ, озеро Байкал, высокое антропогенное воздействие (туристическая деятельность)	Истомина, Лужкова, 2017
3		туристско-рекреационная деятельность	природный парк «Риа Формоза», Португалия	полевые исследования; топографические карты; ортофотопланы; отчеты Института охраны природы и лесных ресурсов Португалии; карты растительности, почв и др.	ландшафтно-интерпретационное картографирование	водные объекты (мелководная лагуна на побережье Атлантического океана); высокое антропогенное влияние (туристическая деятельность в парке)	Истомина и др., 2016
4		17	НП «Лосинный остров», Россия	статистические данные; результаты полевых исследований; данные социологического опроса; материалы с сайта НП; методические разработки; космические снимки	в основу оценки положена теория общей экономической ценности, стоимость прямого использования была оценена с помощью метода прямой рыночной оценки, косвенного — применением методов альтернативной стоимости, переноса выгод и метода замещения, а также конвенционно-объемного метода	ООПТ, близость к крупному населенному пункту	Лелькова, Пакина, 2020

Таблица 2. (продолжение)

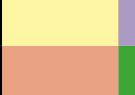



№	Группы ЭУ	Кол-во ЭУ	Объект исследования, страна	Исходные данные	Методы	Приуроченность	Авторы
5		25	НП «Колхети», Грузия	полевые наблюдения; литературные источники; фондовые материалы; статистическая информация; спутниковые снимки «СКАНЕКС»; данные «OpenStreetMap»	прямая рыночная оценка производственных функций в рамках концепции общей экономической ценности	ООПТ, побережье Черного моря (западная прибрежная часть Колхидской низменности)	Козлов и др., 2021
6		регулирование па- водков	три водосборных бассейна: Малки Искар, Янтра и Видима, Болгария	космические снимки Landsat; CORINE Land Cover; ортофотопланы (60 см/пиксель); ЦМР; Данные о почвах FAO/UNESCO	матричный подход; с помощью гидрологической модели KINEROS были оценены ЭУ различных типов растительного покрова	водные объекты	Nedkov et al., 2015
7		12	лесные экосистемы в долинах рек Fiemme и Fassa в Долomitовых Альпах, Италия	ежегодные отчеты провинции Трентино; интервью специалистов; планы управления лесами; данные ГИС о риске схода лавин и оползней; статистические данные о туризме провинции Трентино; данные о количестве охотников и др.	оценка общей экономической ценности ЭУ посредством методов: рыночной цены, восстановительной стоимости и передачи выгоды, основанной на условной оценке	горные лесные территории, высоты от 1000 до 2600 м над у. м.; антропогенное воздействие: заготовка древесины и туристическая деятельность	Naupa et al., 2015
8		19	НП «Донана» и «Сьерра-Невада», их буферные зоны, Андалусия, Испания	индивидуальная анкета и топографическая карта для составления карты предоставления экосистемных услуг	анкетирование	ООПТ; горная территория, крупный водосборный бассейн р. Гвадалквивир (уязвимое расположение)	Palomo et al., 2013

Таблица 2. (продолжение)





№	Группы ЭУ	Кол-во ЭУ	Объект исследования, страна	Исходные данные	Методы	Приуроченность	Авторы
9		6	три сельских района Арагона, Испания	статистическая информация (данные переписи населения); ЦМР; климатические и почвенные данные; карты землепользования и др. базы данных для этой территории	выявление взаимосвязей между изменением демографических показателей ЭУ и представлением ЭУ с помощью инструмента Soil and Water Assessment Tool, обобщенных аддитивных смешанных моделей и линейных моделей смешанных эффектов	горные ландшафты, от низкогорьев (Monegros) до высокогорных участков (Necho)	Bruno et al., 2021
10		12	участок поймы реки Пьедра, Испания	полевые данные; карты сельскохозяйственных культур и землепользования; национальные базы данных	оценка ЭУ в 7 типах землепользования поймы реки для трех пространственных уровней: участок, муниципалитет и ландшафт. Для моделирования сценариев развития и взаимодействия ЭУ использовались обобщенные смешанные модели	агроэкосистемы; долина реки и длительная антропогенная нагрузка (землепользование)	Felipe-Lucia et al., 2014
11		накопление углерода в минеральных горизонтах почв	минеральные горизонты почв субальпийских и альпийских лугов Пиренеев, Испания	полевые исследования; климатические и топографические данные (высота, экспозиция и уклон); данные о литологии	множественный регрессионный анализ для оценки запасов органического углерода в почве	горная система Пиренеи	Garcia-Pausas et al., 2007
12		5	бассейн Уилламетт, штат Орегон, США	карты землепользования и растительного покрова	использована эколого-экономическая модель InVEST для прогнозирования предоставления ЭУ в рамках 3-х сценариев развития	бассейн реки; разнообразие экорегионов (Долина реки, Береговой хребет; Каскадный хребет); наличие с/х и городских земель	Nelson et al., 2009

Таблица 2. (продолжение)

№	Группы ЭУ	Кол-во ЭУ	Объект исследования, страна	Исходные данные	Методы	Приуроченность	Авторы
13		поглощение и накопление углерода в лесных экосистемах	уезд Тяньгай, провинция Чжэцзян, Китай	спутниковые изображения SPOT; ЦМР; карты землепользования и растительного покрова; карта лесных ресурсов; лесная таксация; данные о почвах	оценка поглощения и запасов углерода в лесных экосистемах с использованием метода затрат на лесовосстановление и метода налогообложения углерода	лесные экосистемы, высокая лесистость территории (66,9%)	Deng et al., 2011
14–16		урожайность и биологические ресурсы ягод; водоочистительные функции болотных экосистем; запасы воды; объемы эмиссий и стоков парниковых газов	болотные и водные экосистемы; Республиканский ландшафтный заказник «Ельня», Витебская область, Беларусь	данные многолетних полевых исследований Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича	интегральная стоимостная оценка услуг болотных и водных экосистем. Методы основаны на Техническом кодексе установившейся практики «Порядок определения стоимостной оценки экосистемных услуг и биологического разнообразия»	ООПТ, болотные и водные экосистемы	Груммо и др., 2016, 2016а, 2016б
17		запасы углерода	влажный тропический лес Баркот, штат Уттаракханде, Индия	спутниковые изображения сверхвысокого разрешения WorldView-2; полевые данные	многоуровневая сегментация изображений методом OBIA с дальнейшей классификацией деревьев по двум видам	влажные тропические леса; предгорья северо-западных Гималаев. Близость к станции постоянных наблюдений (Barkot Flux Research Site)	Pandey et al., 2020



Таблица 2. (продолжение)

№	Группы ЭУ	Кол-во ЭУ	Объект исследования, страна	Исходные данные	Методы	Приуроченность	Авторы
18		7	сельский регион долины Гелдерсе, Нидерланды	топографическая карта (Dutch topographical map, 1:10000); данные о землепользовании; почвенные данные (Soil Statistics Survey)	1) Картографирование экосистемных функций с помощью ландшафтных индикаторов; 2) количественная оценка многофункциональности ландшафтов; 3) анализ взаимодействий экосистемных функций на основе полученных данных	плотно населенный сельский регион (более 70% используется в хозяйственных целях (земледелие и животноводство) в окружении двух национальных парков	Willemen et al., 2010
19		исследование потоков азота для очистки водных объектов	крупный бассейн Адур-Гаронна, юго-западе Франции	нет данных	использование общевойсковой статистической модели для оценки и картографирования потоков азота в поверхностных водах	крупный бассейн реки, расположенный в с/х районе	Maes et al., 2012

## Примечание:

 Обеспечивающие ЭУ

 Регулирующие ЭУ

 Поддерживающие ЭУ

 Культурные ЭУ