

Оценка средообразующих функций болотных экосистем Алтайского государственного природного биосферного заповедника

© 2026. Е. П. Черткова^{1,2}, с. н. с., аспирант,
Д. Г. Замолодчиков², д. б. н., г. н. с.,

¹Алтайский государственный природный биосферный заповедник,
649000, Россия, г. Горно-Алтайск, пер. Набережный, д. 1,

²Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН,
117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, стр. 14,
e-mail: tchertkova.elena@yandex.ru, dzamolod@mail.ru

Водно-болотные угодья выполняют важнейшие средообразующие функции, однако их экономическая ценность для особо охраняемых природных территорий часто недооценена. Цель работы – определить экономическую ценность водоочистительной функции болот Алтайского заповедника. Исследование выполнено на основе сравнительной оценки эколого-экономической эффективности природных и техногенных систем водоочистки. В 2024 г. проведены натурные гидрохимические исследования качества воды на входе и выходе из болотных массивов площадью 3299 га. В качестве технологического аналога выбрана установка «Векса-20-М», обеспечивающая очистку до нормативов рыбохозяйственных водоёмов. Установлено, что качество воды после болот соответствует данным нормативам (взвешенные вещества 2–6 мг/л, нитраты 0,2–2,1 мг/л). Годовой объём фильтрации составил 273,4 млн м³, а экономический эквивалент водоочистительной функции – 369 млн руб./год. Впервые для болот Алтайского заповедника получена количественная оценка, объединившая натурные данные и экономические расчёты. Результаты могут использоваться для обоснования природоохранных мероприятий и расчёта предотвращённого ущерба на особо охраняемых природных территориях.

Ключевые слова: экосистемные услуги, фильтрующая способность, водно-болотные угодья, особо охраняемые природные территории, экономическая оценка, природный капитал, водоочистные функции.

Evaluation of environment-forming functions of wetland ecosystems in the Altai State Nature Biosphere Reserve

© 2026. E. P. Chertkova^{1,2}, ORCID: 0000-0003-1009-367X¹
D. G. Zamolodchikov², ORCID: 0000-0002-2466-9003²

¹Altai State Natural Biosphere Reserve,

1, Naberezhnyy Lane, Gorno-Altaysk, Russia, 649000,

²Centre for Forest Ecology and Productivity Problems, Russian Academy of Sciences,
14, 84/32, Profsoyuznaya St., Moscow, Russia, 117997,
e-mail: tchertkova.elena@yandex.ru

Wetlands are among the most productive ecosystems, providing a wide range of regulating services, among which the water purification function plays a key role in maintaining the hydrological regime of territories. However, the economic value of these services for protected areas remains insufficiently studied. The aim of this work is to determine the economic value of the water purification function of the mire ecosystems in the Altai State Natural Biosphere Reserve (ASNBR). The work is based on a comparative assessment of the ecological and economic efficiency of natural and technological water treatment systems. The object of the study is the mire ecosystems of the ASNBR, covering a total area of 3,299 hectares. During the 2024 field season, *in situ* hydrochemical studies were conducted to determine the quality of water entering the mire systems and formed after filtration through them. The closed-cycle treatment plant “Veksa-20-M” was selected as a technological analogue, ensuring water purification to fishery reservoir standards, which corresponds to the target water quality at the outlet of the mire ecosystems. Cost calculations for the technological system were performed considering the full life cycle of the equipment (capital costs, depreciation, operating expenses). The filtration volume of the mires was determined based on their area, specific filtration capacity (685 m³/ha/day), and the duration of the frost-free period (121 days). Hydrochemical studies confirmed that the water quality at the outlet of the mire systems meets fishery standards: suspended solids content is 2–6 mg/L, nitrate concentration is 0.2–2.1 mg/L.

The total annual volume of water filtered by the ASNBR mire ecosystems reached 273.4 million m³. The unit cost of water treatment using the technological analogue, considering its full life cycle, was determined to be 1.35 rubles/m³. The economic equivalent of the mires' water purification function is estimated at 369 million rubles/year. Comparative analysis revealed that, with comparable final treatment quality, the natural system is 430 times more productive than the technological one, requires no capital investment, is energy-independent, and, unlike the industrial plant, generates no toxic waste. For the first time, a quantitative assessment of the water purification function has been performed for the mire ecosystems of the ASNBR, based on a comparison with a technological analogue considering its full life cycle. The obtained results can be used to substantiate conservation measures, calculate prevented environmental damage, and in forest management planning materials for protected areas.

Keywords: ecosystem services, filtering capacity, wetlands, specially protected areas, economic valuation, natural capital, water purification functions.

Водно-болотные угодья (ВБУ) признаны одними из наиболее продуктивных и ценных экосистем планеты, предоставляющих широкий спектр регулирующих экосистемных услуг [1, 2]. Их средообразующие функции, такие как регулирование гидрологического режима, очистка воды, депонирование углерода и поддержание биоразнообразия, являются фундаментальными для устойчивого функционирования биосферы [3, 4]. Однако, будучи «невидимыми» для традиционной экономики, эти функции часто недооцениваются.

Научный интерес к болотным (торфяным) экосистемам, их структуре, функционированию и роли в биосфере имеет давнюю историю, однако с конца XX века он приобрёл особую актуальность в контексте глобальных изменений климата и оценки экосистемных услуг [5]. Международное научное сообщество сформировало ряд фундаментальных сводок, заложивших современное понимание болот как динамичных и многофункциональных систем. К ним относятся классические труды по экологии водно-болотных угодий [6], биологии и палеоэкологии торфяников [7, 8], а также региональные монографии, охватывающие болота от Сибири до Огненной Земли [9], Канады [10] и Финляндии [11]. Поворотным моментом стала публикация результатов оценки экосистем на рубеже тысячелетий [12], которая систематизировала вклад экосистем, включая ВБУ, в благосостояние человека. Это заложило основу для интеграции знаний о болотах в проблематику биоразнообразия и климатических изменений, что нашло отражение в крупных международных оценках [13, 14]. Данные работы подчеркнули роль болот как критически важных буферов и регуляторов глобальных биогеохимических циклов, в особенности углеродного, а также их уязвимость в условиях антропогенной эксплуатации [15, 16] и глобального потепления [17]. В России и странах постсоветского пространства исследования болот имеют

глубокие традиции, сфокусированные на их структурно-функциональной организации и региональном разнообразии [18]. Значительный вклад внесли работы по систематике и экологии болот СССР [19], изучению их гидрологических и биогеоценотических особенностей в таёжной зоне [20, 21], а также по исследованию болотных массивов в различных регионах [22, 23]. Развивалось и прикладное направление, связанное с охраной и мониторингом болот на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) [24, 25].

Современный этап исследований характеризуется переходом от чисто экологического описания к экономической оценке функций и услуг болотных экосистем [26]. Этот подход, основанный на концепции общей экономической ценности, позволяет количественно выразить вклад природных систем, включая нерыночные средообразующие и регулирующие услуги, в благосостояние человека. Данная методология успешно апробирована для оценки водно-болотных угодий ООПТ Казахстана [27] и Беларуси [28]. В российской науке также были заложены экономические основы сохранения ВБУ [29, 30]. Однако, несмотря на разработанность общих подходов, количественные, локализованные стоимостные оценки средообразующих функций, основанные на сопоставимых технологических и экологических критериях, для конкретных болотных массивов в составе биосферных резерватов России, остаются фрагментарными. Восполнение этого пробела, в частности, путём комплексного сравнения природных и технологических систем с учётом качества очищаемой воды и полного жизненного цикла технологий, является актуальной научной задачей.

Цель исследования – определить экономическую ценность водоочистительной функции болот Алтайского заповедника путём сравнения затрат на гипотетическую замену этой функции промышленной установкой

«Векса-20-М» с учётом реального качества воды в заповеднике.

Объекты и методы исследования

Работа выполнена на территории Алтайского государственного природного биосферного заповедника (АГПБЗ). Общая площадь заповедника составляет 871 207,6 га, из которых на восточную часть бассейна Телецкого озера приходится 11 844 га. Территория полностью относится к бассейну р. Оби, характеризуется густой гидрографической сетью (плотность 1,5–2,0 км/км²) и сложным горным рельефом с перепадами высот от 400 до 3500 м, что определяет высокое ландшафтное разнообразие [31].

Согласно материалам лесоустройства [32], общая площадь болот АГПБЗ составляет 3299 га. На основе геоботанических описаний [33], Проекта лесохозяйственных работ [34] и данных архива Летописи природы выделены и проанализированы следующие основные типы:

1. Болотисто-ерниковые тундры Чулышманского нагорья. Доминирующий тип высокогорных ВБУ. Эдификатором выступают ерники (*Betula rotundifolia* Spach), в травяно-кустарничковом ярусе преобладают осоки (*Carex* spp.), пушица (*Eriophorum* spp.), разнотравье.

2. Зеленомошные болота. Локально распространены в Прителецком районе и на склонах. Характеризуются сомкнутым покровом из гипновых мхов (*Hypnales*) с участием осок, кустарничков (*Vaccinium vitis-idaea* L.). Выполняют важную роль в регулировании почвенно-грунтового стока.

3. Травянистые болота. Наиболее распространённый тип, особенно на правобережье р. Чульчи. Отличаются развитым травостоем из гигрофильных видов. Являются ключевыми фильтрационными элементами в поймах малых рек.

4. Комплексы ВБУ Джулукульской котловины. Представляют собой мозаику обводнённых низинных и переходных болот, часто на минеральных субстратах. В растительном покрове сочетаются осоки (доминирует *Carex rostrata* Stokes), сообщества кобрезии (*Kobresia myosuroides* Vill.), ивняки (*Salix* spp.).

Гипотеза исследования: водоочистительная функция болотных экосистем АГПБЗ, оцениваемая с учётом качества воды на выходе для природных экосистем, полного

жизненного цикла технологий и сопутствующих экосистемных услуг, демонстрирует системную экономическую и экологическую эффективность, превосходящую возможности стандартных промышленных очистных технологий для воды со схожим исходным уровнем загрязнения.

Для обоснования выбора технологического аналога и корректности сравнения, авторами в 2024 г. (весенне-летний период) были проведены полевые исследования по отбору проб воды в ключевых пунктах водосборного бассейна заповедника. Пробы отбирались из поверхностного слоя (0,2–0,5 м). Отбор проб воды с поверхности обусловлен задачами исследования: оценка качества вод, формирующихся до и после фильтрации через болотные массивы и поступающих в сеть ВБУ, что соответствует зоне активного водообмена и наиболее репрезентативно для характеристики влияния болотных экосистем на поверхностный сток. Пробы отбирались в местах с хорошо перемешанным потоком и в прибрежной зоне рек и озёр (ГОСТ Р 70282-2022). Целью отбора являлась характеристика качества вод, поступающих в болотные массивы и формирующихся после фильтрации через них. В ходе экспедиционных работ были отобраны пробы в истоках рек, дренирующих Джулукульскую котловину (оз. Джулукуль, р. Богояш), которая представляет собой обширный комплекс ВБУ, а также в реках, непосредственно впадающих в Телецкое озеро (р. Чулышман, р. Кыга, р. Камга, р. Ойер) и в самих заливах озера (Кыгинский, Камгинский), принимающих воды после прохождения через болотные экосистемы (табл. 1).

Лабораторный анализ проб выполнен на базе технопарка «Кванториум 04» (г. Горно-Алтайск), являющегося структурным подразделением автономного учреждения дополнительного образования Республики Алтай «Республиканский центр дополнительного образования». Определение гидрохимических показателей осуществлялось с использованием стандартизированных методик, аттестованных для анализа природных вод (ГОСТ Р 59024-2020). Прозрачность воды определяли визуальным методом (метод Снеллена) с использованием стандартного шрифта [35]. Содержание взвешенных веществ определяли гравиметрическим методом (ГОСТ Р 53692-2023), цветность и запах воды – органолептическим методом (ГОСТ Р 59024-2020), водородный показатель (рН) – потенциометрическим методом (ГОСТ Р 70282-2022), удельную

Таблица 1 / Table 1

Основные характеристики водных объектов Алтайского государственного природного биосферного заповедника (АГПБЗ)
Main characteristics of water bodies in the Altai State Nature Reserve

Название объекта Object name	Координаты (N, E) Coordinates (N, E)	Высота над уровнем моря, м Altitude above sea level, m	Прозрачность, баллы Transparency, points	Взвешенные вещества, г/л Suspended solids, g/L	Цвет Colour	Запах, балл Odour, points	pH	Электропроводность, мСм/см Electrical conductivity, mS/cm	NO ₃ ⁻ , мг/л mg/L	CO ₂ , мг/л mg/L	S, г/л g/L
Источники (поступление в водно-болотные угодья (ВБУ)) / Headwaters (inflow to wetlands)											
оз. Джундукуль Lake Dzhulukul	50.485697, 89.658528	2245	2	0,008	жёлтый yellow	3	8,03	0,05	0,3	2	0,02
р. Богдаш Bogoyash River	50.380317, 89.301283	2286	3	0,0047	жёлтый yellow	3	8,22	0,01	0,5	4	0,02
Транзитные (водотоки, дренирующие ВБУ) / Transit (streams draining wetlands)											
р. Чулышман Chulyshman River	51.088833, 87.995350	523	1	0,0052	жёлтый yellow	4	7,9	0,08	1,4	6,5	0,09
Водокат Учар Uchar Waterfall	51.118483, 88.08340	810	2	0,0036	жёлтый yellow	4	8,6	0,001	0,2	3	0,01
р. Кыга Kuga River	51.338733, 87.881383	514	1	0,006	слабо жёлтый pale yellow	0	8,55	0,09	2,1	4	0,14
р. Камга Kamga River	51.802383, 87.723283	435	1	0,002	слабо жёлтый pale yellow	0	8,16	0,07	1,5	5	0,14
р. Ойер Ойер River	51.778333, 87.362783	428	2	0,02	слабо жёлтый pale yellow	0	8,09	0,04	1,2	5	0,05
Приёмные водоёмы (аккумуляция стока после ВБУ) / Receiving water bodies (accumulation after wetlands)											
Камгинский залив Kamga Bay	51.795054, 87.714439	433	2	0,24	слабо жёлтый pale yellow	0	8,35	0,02	0,6	1	0,15
Кыгинский залив Kuga Bay	51.359768, 87.835686	436	2	0,0012	слабо жёлтый pale yellow	0	8,39	0,09	1,8	5	0,17

электропроводность – кондуктометрическим методом (ГОСТ Р 70282-2022), концентрацию нитрат-ионов (NO_3^-) – фотометрическим методом (ГОСТ 33045-2014), содержание свободного углерода (CO_2) – титриметрическим методом (ГОСТ 31957-2012), сухой остаток (S) – расчётным методом по сумме основных ионов, а для контрольных проб – гравиметрическим методом (ГОСТ 18164-72).

Анализ полученных данных (табл. 1) показывает, что воды, поступающие в болотные системы (оз. Джулукуль, р. Богояш), характеризуются крайне низкой минерализацией (0,02 г/л), что соответствует ультрапресным водам, и низким содержанием взвешенных веществ. Жёлтый цвет вод в верховьях и в реке Чулышман свидетельствует о присутствии гуминовых соединений, выносимых из болот Джулукульской котловины. При этом концентрации нитратов (0,2–2,1 мг/л) находятся в пределах, соответствующих требованиям, предъявляемым к водным объектам рыбохозяйственного назначения (Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552). Повышенное содержание взвешенных веществ в Камгинском заливе (0,24 г/л) носит, вероятно, эпизодический характер, связанный с ветровым волнением или паводком. Таким образом, целевым показателем качества воды на «выходе» из болотной экосистемы является её соответствие нормативам для рыбохозяйственных водоёмов ($\text{ПДК}_{\text{р/х}}$), как наиболее строгим, регламентирующим безопасность среды обитания для гидробионтов.

Стоимостная оценка фильтрующей функции ВБУ выполнена на основе сравнительной оценки эколого-экономической эффективности природных и техногенных систем водоочистки [2]. Данный подход в рамках исследования адаптирован для корректного сопоставления систем, имеющих принципиально различную природу, путём учёта

полного жизненного цикла технологического аналога и приведения качества очистки к сопоставимым нормативам ($\text{ПДК}_{\text{р/х}}$).

В качестве аналога выбрана установка очистки сточных вод «Векса-20-М» (производитель ГК «Аргель», Россия). Выбор обоснован следующими критериями:

- установка предназначена для очистки поверхностных ливневых, талых и производственных сточных вод до нормативов ПДК для сброса в водные объекты рыбохозяйственного назначения, что соответствует цели поддержания природного качества вод в заповеднике;

- паспортные данные установки (табл. 2) гарантируют снижение содержания загрязняющих веществ (взвешенные вещества, нефтепродукты, химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК_5)) до уровней, соответствующих или лучших, чем наблюдаемые в водотоках заповедника после прохождения болотных массивов;

- производителем установлен гарантийный срок эксплуатации – 5 лет.

Исходные данные для природной системы:

- площадь болот (S) – 3299 га [28];
- удельная фильтрующая способность ($F_{\text{уд}}$) болотных экосистем – 685 $\text{м}^3/\text{га}/\text{сутки}$ [38]. Данная величина отражает интегральную способность торфяной залежи, корнеобитаемого слоя и сопутствующей биоты к физико-химической и биологической очистке воды;

- продолжительность активного функционирования (T) – период с положительными температурами, отсутствие устойчивого снежного покрова и ледостава. На основе климатических данных для территории заповедника принята равной 121 день (середина мая – середина сентября);

- расчёт общего объёма фильтрации ($V_{\text{бол}}$):

$$V = S \cdot F_{\text{уд}} \cdot T.$$

Таблица 2 / Table 2

Паспортные показатели производительности установки «Векса-20-М»
 Certified treatment performance indicators of the Veksa-20-M treatment plant

Показатель / Parameter	На входе в установку (max), мг/л At the inlet (maximum), mg/L	На выходе из установки, мг/л At the outlet, mg/L
Взвешенные вещества Suspended solids	3000	≤ 3
Нефтепродукты Petroleum products	110	≤ 0,05
ХПК / COD	1200	≤ 10
БПК_5 / BOD_5	150	≤ 2

Расчёт затрат для технологического аналога:
– производительность установки «Векса-20-М»: 20 л/с (72 м³/час (1728 м³/сутки));
– рыночная стоимость установки (С) составляет 2 437 000 рублей (Коммерческое предложение ГК «Аргель», 2026 г.).

Для корректного сравнения капитальные затраты распределяются на весь гарантийный срок службы (5 лет). Годовая амортизация равна: $C = 2\,437\,000 \text{ руб.} / 5 \text{ лет} = 487\,400 \text{ руб./год}$.

Результаты и обсуждение

В практике экономических расчётов природоохранных затрат годовые эксплуатационные расходы на оборудование водоочистки оцениваются в размере 10–20 % от капитальных вложений [39]. В настоящем исследовании принята величина 15 % от стоимости оборудования: годовые эксплуатационные затраты ($C_{\text{экс}}$) = 2 437 000 руб. · 0,15 = 365 550 руб./год.

Суммарные годовые затраты на одну промышленную очистную установку (ПОУ) ($C_{\text{поу.год}}$) составляют: $C_{\text{поу.год}} = \text{годовые амортизационные отчисления } (C_{\text{кап.год}}) + C_{\text{экс}} = 487\,400 + 365\,550 = 852\,950 \text{ руб./год}$.

Производительность одной ПОУ в год ($V_{\text{поу.год}}$) (при круглогодичной работе): $V_{\text{поу.год}} = 1728 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot 365 \text{ сут} = 630\,720 \text{ м}^3/\text{год}$.

Удельная стоимость очистки 1 м³ воды на ПОУ ($C_{\text{уд.поу}}$): $C_{\text{уд.поу}} = C_{\text{поу.год}} / V_{\text{поу.год}} = 852\,950 / 630\,720 \approx 1,35 \text{ руб./м}^3$.

Оценка стоимостного эквивалента услуги природных болот ($C_{\text{бол}}$): $C_{\text{бол}} = \text{суммарный объём воды, фильтруемой болотными экосистемами за безморозный период } (V_{\text{бол}}) \cdot C_{\text{уд.поу}}$.

Суммарный объём воды, проходящей через фильтрационный комплекс болот АГПБЗ за безморозный период, составил:

$V_{\text{бол}} = 3299 \text{ га} \cdot 685 \text{ м}^3/\text{га/сут} \cdot 121 \text{ сут} = 273\,437\,615 \text{ м}^3$.

Стоимость очистки 1 м³ воды, рассчитанная через полные годовые затраты на установку «Векса-20-М», составила 1,35 руб./м³. Соответственно, годовой стоимостный эквивалент водоочистительной услуги болот заповедника оценивается в: $C_{\text{бол}} = 273\,437\,615 \text{ м}^3 \cdot 1,35 \text{ руб./м}^3 = 369\,140\,780 \text{ руб.}$

Проведённое исследование позволило не только получить конкретную стоимостную оценку одной из ключевых средообразующих функций болотных экосистем, но и апробировать методику корректного сопоставления природных и техногенных систем очистки с учётом их принципиально разной природы.

Главный методический вызов заключался в обосновании сопоставимости целей очистки. Полученные натурные гидрохимические данные (табл. 1) подтвердили, что качество воды на входе в болотные массивы и на выходе из них соответствует категории «условно чистых» вод, а целевым показателем для сравнения являются нормативы качества воды рыбохозяйственных водоёмов (ПДК_{р/х}). Выбор установки «Векса-20-М», паспортные характеристики которой гарантируют достижение именно этих нормативов, является методологически строгим.

Сравнительный анализ химических показателей (табл. 1 и 2) показывает, что качество воды на выходе из болотных экосистем и паспортные характеристики установки «Векса-20-М» являются сопоставимыми по основным нормируемым показателям: содержание взвешенных веществ в водотоках после болот (в среднем 2–6 мг/л) близко к гарантированному показателю установки ($\leq 3 \text{ мг/л}$); концентрации нитратов (0,2–2,1 мг/л) на порядки ниже ПДК_{р/х} (40 мг/л), что соответствует целям очистки. Принципиальное различие заключается не в финальном «химическом составе», а в «природном фоне»: болотные воды сохраняют естественную слабощелочную среду (pH 7,8–8,6) и содержат гуминовые вещества (обуславливающие жёлтый цвет), которые являются не загрязнителями, а неотъемлемым компонентом природных вод таёжной зоны. Техногенная система, достигая нормативов ПДК, производит воду, лишённую этих естественных компонентов, и, кроме того, генерирует отходы в виде насыщенных сорбентов, требующих утилизации. Полученная оценка в 369 млн рублей в год отражает гипотетические затраты на замещение только фильтрационной функции болот техногенными средствами. Важно подчеркнуть, что эта цифра не является «доходом» заповедника, а представляет собой предотвращённый ущерб или, иными словами, «безвозмездные услуги» природы. Критическое преимущество природных систем раскрывается при анализе полного жизненного цикла. Установка «Векса-20-М» за 5 лет эксплуатации накопит несколько тонн отработанных сорбентов, насыщенных нефтепродуктами и тяжёлыми металлами (III–IV класс опасности), которые потребуют вывоза, захоронения или регенерации, что создаст дополнительную нагрузку на окружающую среду. Болотная экосистема, напротив, является безотходной и самоподдерживающейся. Аккумулированные загрязнители (в данном

случае – фоновые) включаются в естественный биогеохимический круговорот и не требуют утилизации. Это делает болота не просто «очистным сооружением», а элементом глобальной системы поддержания биосферного гомеостаза.

Заключение

Выдвинутая гипотеза получила эмпирическое и расчётное подтверждение. Установлено, что водоочистительная функция болотных экосистем Алтайского заповедника обеспечивает ежегодную фильтрацию 273,4 млн м³ воды с качеством, соответствующим рыбохозяйственным нормативам (взвешенные вещества 2–6 мг/л, нитраты 0,2–2,1 мг/л). Экономический эквивалент данной функции, полученный в результате сравнительной оценки эколого-экономической эффективности природной системы и установки «Векса-20-М», с учётом полного жизненного цикла, составляет 369 млн рублей в год, что демонстрирует системное превосходство болотных экосистем над техногенными аналогами по масштабу, энергоэффективности и экологической безопасности.

Впервые для болотных массивов Алтайского заповедника выполнена оценка, объединившая натурные гидрохимические данные и экономические расчёты. Показано, что природные системы не только сопоставимы с техногенными по конечному качеству очистки воды, но и обладают неопределимыми преимуществами: поддержанием естественного гидрохимического фона (гуминовые вещества, слабощелочная среда) и отсутствием отходов, тогда как эксплуатация очистных установок сопровождается образованием токсичных сорбентов III–IV класса опасности.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (тема № 125121914673-8 Многолетняя динамика экосистем, природных ландшафтов и природных комплексов Алтайского государственного заповедника: изучение естественного хода процессов и явлений в целях обеспечения сохранения природной среды, в том числе естественных экологических систем, объектов животного и растительного мира (1-22-2-1) а также в рамках государственного задания ЦЭПЛ РАН «Биоразнообразие и экосистемные функции лесов» (Регистрационный номер НИОКТР 124013000750-1).

Литература

1. Barbier E.B., Acreman M., Knowler D. Economic valuation of wetlands: a guide for policy makers and planners. Gland: Ramsar Convention Bureau, 1997. 127 p.
2. Brander L.M., Florax R.J.G.M., Vermaat J.E. The empirics of wetland valuation: a comprehensive summary and a meta-analysis of the literature // Environ. Resource. Econ. 2006. V. 33. P. 223–250. doi: 10.1007/s10640-005-3104-4
3. Экосистемы болот // Состояние биоразнообразия природных экосистем России / под ред. В.А. Орлова, А.А. Тишкова. М.: НИА-Природа, 2004. С. 103.
4. Сирин А.А. Торфяные болота: свойства, функции, экосистемные услуги // Материалы конференции «Х Галкинские Чтения». СПб.: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2019. С. 183–185.
5. Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital // Nature. 1997. V. 387. P. 253–260. doi: 10.1038/387253a0
6. Mitsch W.J., Gosselink J.G. Wetlands. New York: John Wiley & Sons, 2000. 920 p.
7. Rydin H., Jeglum J.K. The Biology of Peatlands. Oxford; New York: Oxford University Press, 2006. 343 p.
8. Charman D. Peatlands and environmental change. Chichester: Wiley, 2002. 301 p.
9. Mires: from Siberia to Tierra del Fuego / Ed. G.M. Steiner. Linz: Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen, 2005. 626 p.
10. Tarnocai C., Kettles I.M., Lacelle B. Peatlands of Canada [Электронный ресурс] <https://ostrnrcan-dostrnrcan.canada.ca/entities/publication/4b928f32-3a2b-4b88-ba2c-03df49dfa451> (дата обращения: 23.11.2025). doi: 10.4095/288786
11. Peatlands in Finland / Ed. H. Vasander. Helsinki: Finnish Peatland Society, 1996. 168 p.
12. Landschaftsökologische Moorkunde / Eds. M. Succow, H. Joosten. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2001. 622 p.
13. Steiner G.M. Österreichischer Moorschutzkatalog. Wien: Grüne Reihe des Bundesministeriums für Umwelt, 2000. 509 p.
14. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: wetlands and water: synthesis / Eds. J. Sarukhán, A. Whyte. Washington, DC: World Resources Institute, 2005. 68 p.
15. Assessment on peatlands, biodiversity and climate change: main report / Eds. F. Parish, A. Sirin, D. Charman, H. Joosten, T. Minayeva, M. Silvius, L. Stringer. Kuala Lumpur; Wageningen: Global Environment Centre; Wetlands International, 2008. 179 p.
16. Вомперский С.Э., Сирин А.А., Глухова Т.В., Цыганова О.П., Валяева Н.А. Запас углерода в тор-

фах болот Российской Федерации (новый подход) // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: материалы VII междунар. полевого симпозиума. Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 2024. С. 75–77.

17. Peatlands and Climate Change / Ed. M. Struck. Saarijärvi: International Peat Society, 2008. 223 p.

18. Возбранная А.Е., Антипин В.К., Бойчук М.А., Миронов В.Л., Сирин А.А. Мониторинг восстановительной динамики болотной растительности ранее разрабатываемых торфяников Национального парка «Мещера» // VIII Галкинские Чтения: материалы конф. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. С. 17–20.

19. Chapman S., Buttler A., Francez A.-J., Laggoun-Défarce F., Vasander H., Schloter M., Combe J., Grosvernier P., Harms H., Epron D., Gilbert D., Mitchell E. Exploitation of northern peatlands and biodiversity maintenance: a conflict between economy and ecology // Front. Ecol. Environ. 2003. V. 1. No. 10. P. 525–532. doi: 10.1890/1540-9295(2003)001[0525:EONPAB]2.0.CO;2.

20. Erwin K.L. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world // Wetlands Ecol. Manage. 2009. V. 17. P. 71–84. doi: 10.1007/s11273-008-9119-1

21. Боч М.С., Мазинг В.В. Экосистемы болот СССР. Л.: Наука, 1979. 186 с.

22. Егоров К.П., Медведева М.А., Галанина О.В., Сирин А.А. Изменение облесенности верховых болот за последние десятилетия: некоторые данные (на примере объектов Западндовинского лесоболотного стационара ИЛАН РАН, Тверская область) // Материалы конференции «XII Галкинские Чтения – Типы болот регионов России». СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. С. 71–73.

23. Елина Г.А., Кузнецов О.Л., Максимов А.И. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. Л.: Наука, 1984. 128 с.

24. Прозоров Ю.С. Болота Нижнеамурских низменностей. Новосибирск: Наука, 1974. 210 с.

25. Николаев В.И. Болота Верхневолжья. Птицы. М.: Изд-во Рус. ун-та, 2000. 216 с.

26. Ямпольский А. Л. Методика эколого-экономической оценки торфяных болот // Труды Инсторфа. 2010. № 2. С. 3–10.

27. Минаева Т.Ю., Глушков И., Носова Н.Б., Стародубцева О.А., Кураева Е.Н., Волкова Е.М. Очерк болот Центрально-Лесного заповедника // Труды Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. Вып. 4. Комплексные исследования в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике: их прошлое, настоящее и будущее. Тула: Гриф и К, 2007. С. 267–296.

28. Бутовский Р.О., Райнен Р., Онагов Д.М., Алещенко Г.М., Мелик-Багдасаров Д.М., Еремкин Г.С., Есенова И.М. Сохранение природы торфяных болот Центральной и Северной Мещеры. М.: Alterra-report 225, 2001. 120 с.

29. Тимохина Ю.И., Калущкова Н.Н., Голубева Е.И. Оценка экосистемных функций водно-болотных угодий особо охраняемых природных территорий Казахстана // Экосистемы: экология и динамика. 2017. Т. 1. № 4. С. 45–58.

30. 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.

31. Методы исследований болотных экосистем таёжной зоны / Отв. ред. О.Л. Кузнецов. Л.: Наука, 1991. 127 с.

32. Бобылев С.Н., Захаров В.М. Экосистемные услуги и экономика. М.: ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России, 2009. 72 с.

33. Наблюдение и изучение явлений и процессов в природном комплексе заповедника по программе Летописи природы: научный отчёт. Горно-Алтайск: ФГБУ «Алтайский государственный заповедник», 2024. Т. 51. 452 с.

34. Проект организации и ведения лесного хозяйства Алтайского государственного природного заповедника Республики Алтай «Западно-Сибирское государственное лесоустроительное предприятие» Омский филиал. Омск, 2004. 375 с.

35. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 2 / Под ред. Л.В. Боевой. Ростов-на-Дону: Издательство Южного Федерального Университета, 2012. 720 с.

36. Седельников В.П. Высокогорная растительность Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Наука, 1988. 223 с.

37. Лесохозяйственный регламент ФГБУ «Алтайский государственный природный заповедник». Горно-Алтайск: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2022. 90 с.

38. Технический кодекс установившейся практики ТКП 17.02-10-2013 (02120). Порядок стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия. Минск: Мин-природы, 2013. 25 с.

39. Бобылев С.Н., Сидоренко В.Н., Лужецкая Н.В. Экономические основы сохранения водно-болотных угодий. М.: Wetlands international, 2001. 56 с.

References

1. Barbier E.B., Acreman M., Knowler D. Economic valuation of wetlands: a guide for policy makers and planners. Gland: Ramsar Convention Bureau, 1997. 127 p.
2. Brander L.M., Florax R.J.G.M., Vermaat J.E. The empirics of wetland valuation: a comprehensive summary and a meta-analysis of the literature // Environ. Resource. Econ. 2006. V. 33. P. 223–250. doi: 10.1007/s10640-005-3104-4

3. Wetland ecosystems // State of biodiversity of natural ecosystems in Russia / Eds. V.A. Orlov, A.A. Tishkov. Moskva: NIA-Priroda, 2004. P. 103. (in Russian).
4. Sirin A.A. Peatlands: properties, functions, ecosystem services // Proceedings of the “X meeting in memoriam of Ekaterina Alexeevna Galkina”. Sankt-Peterburg: Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, 2019. P. 183–185 (in Russian).
5. Costanza R., d’Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O’Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van den Belt M. The value of the world’s ecosystem services and natural capital // *Nature*. 1997. V. 387. P. 253–260. doi: 10.1038/387253a0
6. Mitsch W.J., Gosselink J.G. Wetlands. New York: John Wiley & Sons, 2000. 920 p.
7. Rydin H., Jeglum J.K. The Biology of Peatlands. Oxford; New York: Oxford University Press, 2006. 343 p.
8. Charman D. Peatlands and environmental change. Chichester: Wiley, 2002. 301 p.
9. Mires: from Siberia to Tierra del Fuego / Ed. G.M. Steiner. Linz: Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen, 2005. 626 p.
10. Tarnocai C., Kettles I.M., Lacelle B. Peatlands of Canada [Internet resource] <https://ostrnrcanadostrnrcan.canada.ca/entities/publication/4b928f32-3a2b-4b88-ba2c-03df49dfa451> (Accessed: 23.11.2025). doi: 10.4095/288786
11. Peatlands in Finland / Ed. H. Vasander. Helsinki: Finnish Peatland Society, 1996. 168 p.
12. Landschaftsökologische Moorkunde / Eds. M. Succow, H. Joosten. Stuttgart: Schweizerbart’sche Verlagsbuchhandlung, 2001. 622 p. (in German).
13. Steiner G.M. Österreichischer Moorschutzkatalog. Wien: Grüne Reihe des Bundesministeriums für Umwelt, 2000. 509 p. (in German).
14. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: wetlands and water: synthesis / Eds. J. Sarukhán, A. Whyte. Washington, DC: World Resources Institute, 2005. 68 p.
15. Assessment on peatlands, biodiversity and climate change: main report / Eds. F. Parish, A. Sirin, D. Charman, H. Joosten, T. Minayeva, M. Silvius, L. Stringer. Kuala Lumpur; Wageningen: Global Environment Centre; Wetlands International, 2008. 179 p.
16. Vomperskiy S.E., Sirin A.A., Glukhova T.V., Tsyganova O.P., Valyaeva N.A. Carbon stock in peats of Russian Federation wetlands (a new approach) // West Siberian peatlands and carbon cycle: past and present: proceedings of the seventh international field symposium. Tomsk: Publishing house of Tomsk State University, 2024. P. 75–77 (in Russian).
17. Peatlands and Climate Change / Ed. M. Struck. Saarijärvi: International Peat Society, 2008. 223 p.
18. Vozbrannaya A.E., Antipin V.K., Boychuk M.A., Mironov V.L., Sirin A.A. Monitoring recovery dynamics of mire vegetation for previously used for extraction peatlands National Park “Meschera” // Proceedings of the “VIII meeting in memoriam of Ekaterina Alexeevna Galkina”. Sankt-Peterburg: Publishing house “LETI”, 2017. P. 17–20 (in Russian).
19. Chapman S., Buttler A., Francez A.-J., Laggoun-Défarce F., Vasander H., Schloter M., Combe J., Grosvernier P., Harms H., Epron D., Gilbert D., Mitchell E. Exploitation of northern peatlands and biodiversity maintenance: a conflict between economy and ecology // *Front. Ecol. Environ.* 2003. V. 1. No. 10. P. 525–532. doi: 10.1890/1540-9295(2003)001[0525:EONPAB]2.0.CO;2
20. Erwin K.L. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world // *Wetlands Ecol. Manage.* 2009. V. 17. P. 71–84. doi: 10.1007/s11273-008-9119-1
21. Boch M.S., Mazing V.V. Ecosystems of the USSR mires. Leningrad: Nauka, 1979. 186 p. (in Russian).
22. Egorov K.P., Medvedeva M.A., Galanina O.V., Sirin A.A. Changes in the forest cover of raised bogs over recent decades: some data (case study of the objects of the West Dvina forest-peatland research station, Tver region) // Proceedings of the “XII meeting in memoriam of Ekaterina Alexeevna Galkina – Types of mires of Russian regions”. Sankt-Peterburg: Publishing house “LETI”, 2023. P. 71–73 (in Russian).
23. Elina G.A., Kuznetsov O.L., Maksimov A.I. Structural and functional organization and dynamics of mire ecosystems in Karelia. Leningrad: Nauka, 1984. 128 p. (in Russian).
24. Prozorov Yu.S. Mires of the Lower Amur lowlands. Novosibirsk: Nauka, 1974. 210 p. (in Russian).
25. Nikolaev V.I. Mires of the Upper Volga region. Birds. Moskva: Russkiy universitet Publ., 2000. 216 p. (in Russian).
26. Yampolskiy A.L. Method of ecological and economic evaluation of mires // *Trudy Instorfa*. 2010. No. 2. P. 3–10 (in Russian).
27. Minayeva T.Yu., Glushkov I., Nosova N.B., Starodubtseva O.A., Kuraeva E.N., Volkova E.M. An essay on the mires of the Central Forest Reserve // Proceedings of the Central Forest State Natural Biosphere Reserve. No. 4. Integrated studies in the Central-Forest State Nature Biosphere Reserve: their past, present and future. Tula: Grif i K, 2007. P. 267–296 (in Russian).
28. Butovskiy R.O., Raynen R., Onagov D.M., Aleshchenko G.M., Melik-Bagdasarov D.M., Eremkin G.S., Esenova I.M. Protection of peatbogs of Central and Northern Meshchera. Moskva: Alterra-report 225, 2001. 120 p. (in Russian).
29. Timokhina Yu.I., Kalutskova N.N., Golubeva E.I. Evaluation of wetlands ecosystem functions of Kazakhstan specially protected natural areas // *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*. 2017. V. 1. No. 4. P. 45–58 (in Russian).
30. Grummo D.G., Zelenkevich N.A., Sozinov O.V., Moyseychik E.V. Ecological and economic evaluation of ecosystem services in the optimization of the hydrological

regime of raised bogs “Yelnya” (Belarus) // Social and Environmental Technologies. 2016. No. 1. P. 57–66 (in Russian).

31. Research methods of mire ecosystems in the taiga zone / Ed. O.L. Kuznetsov. Leningrad: Nauka, 1991. 127 p. (in Russian).

32. Bobylev S.N., Zakharov V.M. Ecosystem services and economics. Moskva: “Tipografiya LEVKO” JSC, Institute for Sustainable Development / Center for Russian Environmental Policy, 2009. 72 p. (in Russian).

33. Observation and study of phenomena and processes in the natural complex of the reserve according to the program of the Chronicle of Nature: scientific report. Gorno-Altaysk: Altai State Nature Reserve, 2024. V. 51. 452 p. (in Russian).

34. Project for the organization and management of forestry in the Altai State Nature Reserve of the Altai Republic “West Siberian State Forest Inventory Enterprise” Omsk branch. Omsk, 2004. 375 p. (in Russian).

35. Guide to the chemical analysis of surface waters. Pt. 2 / Ed. L.V. Boeva. Rostov-on-Don: Southern Federal University Press, 2012. 720 p. (in Russian).

36. Sedelnikov V.P. High-mountain vegetation of the Altai-Sayan mountain region. Novosibirsk: Nauka, 1988. 223 p. (in Russian).

37. Forest management regulations of the Altai State Nature Reserve. Gorno-Altaysk: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, 2022. 90 p. (in Russian).

38. Technical Code of Established Practice TCP 17.02-10-2013 (02120). Procedure for the monetary valuation of ecosystem services and determining the monetary value of biological diversity. Minsk: Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, 2013. 25 p. (in Russian).

39. Bobylev S.N., Sidorenko V.N., Luzhetskaya N.V. Economic basis for wetland conservation. Moskva: Wetlands international, 2001. 56 p. (in Russian).