

Учет экосистемных функций в оценке состояния природного капитала северного региона



**Татьяна Вячеславовна
ТИХОНОВА**

Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
Сыктывкар, Российская Федерация
e-mail: tikhonova@iespn.komisc.ru
ORCID: 0000-0002-2912-1696; ResearcherID: J-8460-2018

Аннотация. Концепция природного капитала выходит за рамки понимания природы как источника сырья для производства и учитывает состояние окружающей среды и экосистем в поддержании благосостояния людей. Для неистощительного использования ресурсов в первую очередь необходимо выявлять устойчивость экосистем к разнообразным антропогенным и техногенным нагрузкам. Природный капитал лесов включает не только лесные (прежде всего древесные) ресурсы, но и весь комплекс экосистемных услуг, связанных со здоровой средой обитания. Оценка состояния экосистем зоны активного лесопользования в Республике Коми вследствие длительной эксплуатации стала целью исследования. Новизна заключается в выявлении степени устойчивости экосистем на этой территории региона. Применялись общенаучные методы анализа, синтеза, сравнения, обобщения, инструментарий компьютерно-картографической формы, основанный на использовании программы ArcView. Оценка компонентов природного капитала позволила дифференцировать лесничества по позициям «сохранение биоразнообразия», «водорегулирование», «водоохрана», «поглощение углерода»; выявить характер ограничений и рекомендовать режим эксплуатации с учетом необходимых природоохранных мероприятий и снижения антропогенной нагрузки. Выявлена относительная стабильность состояния экосистем за период 2000–2020 гг. Угрозы выражены в незначительном сокращении биоразнообразия, ослаблении функций накопления подземного стока и аккумуляции поверхностного стока вследствие интенсивных рубок низковозрастных лесных пород. Преобладающая часть лесничеств отнесена

Для цитирования: Тихонова Т.В. (2023). Учет экосистемных функций в оценке состояния природного капитала северного региона // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 16. № 4. С. 186–202. DOI: 10.15838/esc.2023.4.88.10

For citation: Tikhonova T.V. (2023). Consideration of ecosystem functions in assessing the condition of natural capital in the northern region. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 16(4), 186–202. DOI: 10.15838/esc.2023.4.88.10

к территории благоприятного экологического состояния, где предложены разные режимы эксплуатации. Однако в ряде лесничеств экосистема подвержена мощному прессингу, вызвавшему снижение устойчивости по трем позициям экосистемных услуг, что характеризует ее неблагоприятное состояние. Здесь рекомендуется особо строгий режим эксплуатации лесных экосистем с максимальным сокращением проведения рубок. Перспективные исследования связаны с осуществлением стоимостной оценки экоуслуг в целях анализа возможности компенсации средств для восстановления природы применительно к крупным лесозаготовителям региона.

Ключевые слова: экосистемные услуги, сохранение биоразнообразия, оценка водоохранно-водорегулирующих функций, поглотительная способность углерода, экосистемный учет, лесопользование, Республика Коми.

Благодарность

Статья подготовлена в рамках НИР «Устойчивое ресурсопользование северного региона: факторы и модели» (№ государственного учета 121021800128-8, 2021–2023 гг.).

Введение

Интерес к оценке элементов природного капитала, одним из важных звеньев которого выступают экосистемные услуги, начал формироваться более 30 лет назад с пониманием необходимости соблюдения принципов устойчивого развития. Осознание ценности экосистемных функций, их воздействие на уровень жизни людей и состояние экосистемы, зачастую связанное с ее истощением, определили начало кропотливой деятельности, включающей разнообразные оценки (экологическую, экономическую, социальную) и встраивание их в экосистемный учет для принятия решений хозяйствования (Ruqian Zhang et al., 2023).

Подходы к измерению экосистемных услуг могут быть выражены денежными единицами, единицами времени и труда либо относительными показателями. Например, они включают количество людей, пользующихся этими услугами, их предпочтения, стоимость получения или сохранения доступа к услуге, а также наличие и стоимость заменителей¹.

Экосистемный учет аккумулирует комплекс информации о состоянии экосистем: измерениях (в единицах); изменениях (в динамике) и оценку влияния хозяйственной деятельности человека. В современных условиях он распространен как на пространственном уровне территориальных объектов (лесничеств, му-

ниципальных районов, особо охраняемых природных территорий), так и на уровне предприятий и корпораций и т. д.²

Научный и научно-практический интерес к подходам изучения и оценки экосистемных функций в последнее десятилетие наблюдается под эгидой ряда проектов и циклов публикаций российских и зарубежных авторов (Kripa et al., 2023; Lilford, 2023). Возникновение нескольких томов «Прототипа национального доклада», посвященных специфике состояния экосистем, оценке экосистемных функций и практике использования, подтверждает актуальность данного вопроса в России (Экосистемные услуги ..., 2016; Экосистемные услуги ..., 2020; Экосистемные услуги ..., 2021). На основе богатого международного опыта, внедрения адаптивных форм инструментария управления природопользованием учет экосистемных

¹ System of Environmental-Economic Accounting – Ecosystem Accounting (SEEA EA). Available at: <https://seea.un.org/ecosystem-accounting>

² System of Environmental-Economic Accounting – Ecosystem Accounting (SEEA EA). Available at: <https://seea.un.org/ecosystem-accounting>; Developing Corporate Natural Capital Accounts. Guidelines for the Natural Capital Committee. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/516971/ncc-research-cnca-guidelines.pdf; Natural Capital Account 2019–2020. Forestry England. Available at: https://www.forestryengland.uk/sites/default/files/documents/Natural%20Capital%20Account%202019-2020_0.pdf; UK natural capital accounts: 2022. Estimates of the financial and societal value of natural resources to people in the UK. Available at: <https://www.ons.gov.uk/economy/environmentalaccounts/bulletins/uknaturalcapitalaccounts/2022>

функций начинает применяться в России (Учет и оценка ..., 2014; Burkhard, Müller, 2013; Syrbe et al., 2013). Учету в международной практике подлежат такие категории, как потенциальный объем услуг, возможный объем использования и реальный спрос в натуральных и стоимостных единицах³ (Zegeye et al., 2023). Для этого применяются методы картирования и сценарного развития ситуации при эксплуатации экосистем (Syrbe et al., 2013; Учет и оценка ..., 2014). Разрешение конфликтных ситуаций, оценка воздействия при проектировании и строительстве объектов, негативно влияющих на состояние природной среды в долгосрочной перспективе, демонстрируют анализ состояния экосистемных функций⁴ (Тишков, 2010).

Мировая практика учета природного капитала на объектном уровне для крупных корпораций стала применяться в последнее десятилетие все чаще. Это вызвало появление Протоколов оценки природного капитала⁵, стандартов оценки финансирования в охрану окружающей среды ISO – ISO 14008 и ISO 14007 и стандартов оценки жизненного цикла ISO 14044, а также системы экосистемного учета⁶.

Лидером в практике оценки и учета активов природного капитала стала Великобритания. В 2015 году в стране была разработана методология корпоративной оценки природного капитала, в 2021 году принят стандарт BS 8632 учета

природного капитала для организаций, в 2022 году – руководство по оценке экосистемных услуг природного капитала для лесной среды УК. Стоимостному учету подлежат производственные услуги (древесные ресурсы, древесное топливо), а также большой спектр регулирующих (поглощение углерода, загрязняющих веществ, водорегулирование, охлаждающий эффект парковых зон) и культурных (туризм, оздоровительный эффект от нахождения на природе) услуг⁷.

Документы, регламентирующие оценку природного капитала, необходимы предприятиям в целях осведомления о рисках, возможностях и, в конечном итоге, управления ими. Результаты таких оценок предназначены для внутренних решений, а не раскрытия информации. Компании могут обосновано информировать заинтересованных лиц об управлении капиталом, включать его в стратегии развития. Это также позволяет бизнесу одинаково интегрировать информацию и показывать, насколько разные капиталы важны для его долгосрочной жизнеспособности (Дмитриева, 2022).

Отечественный пример внедрения анализа состояния экоуслуг (средозащитных, водорегулирующих и т. д.) в физических и стоимостных единицах демонстрируется в Лесных планах субъектов, куда включена информация на момент их составления и на перспективу.

Примеры проведения оценки отдельных экоуслуг на территории региона существуют, что лишь подтверждает многолетний интерес к ним (Лиханова, 2012; Тихонова, 2017; Птичников и др., 2019). Однако оценка их состояния не была рассмотрена в комплексе нескольких экосистемных функций и в динамике за продолжительный период воздействия на природную среду.

Республика Коми является одним из значимых регионов в сфере лесозаготовки. Для нее характерны обширные площади лесозаготовки (36,3 млн га, или 87% территории), практически вековая история эксплуатации. В настоящее

³ Technical Recommendations in support of the System of Environmental-Economic Accounting 2012 – Experimental Ecosystem Accounting (2019). Available at: <https://seea.un.org/content/technical-recommendations-support-seea-eea>

⁴ Методика по определению стоимостной оценки экосистемных услуг и ценности биологического разнообразия. Технический кодекс установившейся практики (2010) / Бел НИЦ «Экология». Минск. 32 с.

⁵ Natural Capitals Coalition. Natural Capital for Biodiversity Policies: What, why and how. Available at: <https://capitalcoalition.org/wp-content/uploads/2021/04/Natural-capital-for-biodiversity-policy-%E2%80%94-FINAL-1.pdf>;

Natural Capital Coalition. Natural Capital Protocol. Available at: www.naturalcapitalcoalition.org/protocol/;

Natural Capital Coalition. Natural Capital Protocol: Forest Products Sector Guide (2018). Available at: https://naturalcapitalcoalition.org/wp-content/uploads/2018/07/NCC_ForestProductsSectorGuide_Web.pdf

⁶ System of Environmental-Economic Accounting – Ecosystem Accounting (SEEA EA). Available at: <https://seea.un.org/ecosystem-accounting>

⁷ Office for National Statistics, ONS website, methodology, Woodland natural capital accounts methodology guide. Available at: <https://www.ons.gov.uk/economy/environmentalaccounts/methodologies/woodlandnaturalcapitalaccounts/methodologyguideuk2022>

время организованы 32 лесничества, 24 из которых принадлежат к зоне наиболее активного использования лесных ресурсов⁸. Здесь сосредоточены основные площади и объемы заготовок (более 60% запаса древесины и более 90% объема заготавливаемой древесины).

Нынешние условия хозяйствования характеризуются применением современного оборудования для заготовки, а также системы ведения лесного хозяйства на принципах устойчивого использования ресурсов (Лесное хозяйство ..., 2000). В связи с этим выбран расчетный период исследования (2000–2020 гг.).

Цель исследования заключается в оценке состояния экосистем вследствие длительной эксплуатации территории зоны активного лесопользования в Республике Коми. Анализ расчетов изменения потоков экоуслуг, влияния разнообразных факторов воздействия позволит дифференцировать лесничества по степени благоприятности состояния экосистем и устойчивости предоставления экосистемных услуг. С помощью такой дифференциации можно будет обосновать рекомендации по характеру допустимых режимов эксплуатации ресурсов на территории исследования, что и составляет его основную задачу. Новизна работы заключается в выявлении степени устойчивости экосистем территории, характеризующейся наиболее активной лесозаготовительной деятельностью в Республике Коми. Территориальными единицами исследования выступают муниципальные районы и лесничества.

Методы исследования

Исследование основывалось на методах теоретического (обобщение, сравнение, систематизация) и эмпирического (статистическое наблюдение, графическая интерпретация) анализа. С помощью ранжирования экосистемных функций были выбраны наиболее важные для лесных систем экоуслуги, такие как сохранение биоразнообразия, водорегулирование, водоохрانا и поглощение углерода. Анализ выбора показателей для оценки этих услуг была посвящена авторская работа (Тихонова, 2022). Вре-

менные срезы базового периода исследования (2000–2020 гг.) корректируются датами доступности необходимой информации.

Биоразнообразие оценивается по числу таксонов, которые выявлены на территории лесничеств (главным образом на территориях ООПТ). Информация содержится в изданиях Красной книги Республики Коми (1998 и 2019 гг.). В ходе анализа сохранения разнообразия видов рассматривались изменения количества редких видов, территории распространения по лесничествам, статуса редкости.

В исследовании акцент сделан на рассмотрении антропогенного и лесохозяйственного факторов. Дополнительно оценивается достоверность информации и изученность территории. Основные показатели, характеризующие антропогенный пресс, это плотность населения, плотность транспортной сети и интенсивность лесозаготовки (отношение среднегодового объема за двадцатилетний период к лесопокрытой площади). Территориальной единицей исследования факторов воздействия являются муниципальные районы. Информационной базой послужили статистические сборники по Республике Коми за исследуемый период.

Водорегулирующая функция леса рассчитывается по накоплению стока в подземных горизонтах. Произведение прироста подземного стока и площади лесных насаждений на территории лесничеств определяет объем накопления воды в подземных горизонтах. Площадь лесных насаждений принимается по данным лесопокрытых площадей лесного фонда лесничеств.

Величина среднегодового прироста подземного стока ΔS (мм) вычисляется по формуле:

$$\Delta S = X \times \alpha \times K_1 \times \mu \times [C_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 - C_2]. \quad (1)$$

Величина среднегодовых осадков X и доля летних осадков μ принимаются по Справочнику по климату и СНиПам «Строительная климатология». Поправочные коэффициенты, использованные для расчета среднегодового прироста подземного стока, опираются на исследования Ю.В. Лебедева и И.А. Неклюдова (Лебедев, Неклюдов, 2012). Величина коэффициента речного стока (α) определяется в за-

⁸ О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2021 году (2022): государственный доклад. Сыктывкар: Минприроды Республики Коми. 167 с.

висимости от природной зоны растительности территории и рельефа местности. Величина коэффициента C_1 зависит от лесистости, вида насаждений и механического состава грунтов (Лебедев, Неклюдов, 2012). Величина коэффициента C_2 для безлесной территории принимается на уровне 0,2. Поправочные коэффициенты K_1 – K_4 устанавливаются в зависимости от заболоченности территории, возраста, бонитета и полноты лесонасаждений. Расчет проводится по возрастным группам хвойных и лиственных насаждений. Лесорастительные характеристики для расчетов включают бонитет, возраст и полноту лесных насаждений по данным форм Государственного лесного реестра и ведомственной отчетности Минприроды Республики Коми по состоянию на 2008 и 2020 гг.

Водоохранная роль лесной экосистемы оценивается по величине изменения поверхностного стока за счет прироста или уменьшения лесистости (Экономика сохранения ..., 2002). Зависимость этих величин определяется уравнением:

$$M = -1,02 + 0,068 \times L, \quad (2)$$

где M – модуль стока с 1 км² водосборного бассейна (тыс. куб. м / га), L – лесистость территории (%).

Площадь лесных насаждений принимается по данным лесопокрываемых площадей лесного фонда лесничеств, соответственно, лесистость территории лесничеств рассчитывается как доля лесных насаждений от общей площади лесного фонда лесничеств. Объем стока определяется произведением площади лесопокрываемой территории лесничеств и модуля стока. Информационная база включает формы Государственного лесного реестра и ведомственной отчетности Минприроды Республики Коми по состоянию на 2000 и 2020 гг.

Анализ протяженности водоохраных полос, выполняющих роль охраны водотоков, также оценивается в качестве дополнения к расчетам. Источником информации стали отчеты Минприроды Республики Коми по состоянию на 2007 и 2021 гг.

Для лесных экосистем региона по лесничествам допустимо провести расчет *поглощения*

углерода, используя удельные показатели поглотительной способности бореальных лесов (Dolman et al., 2012). Лесопокрываемые площади лесного фонда лесничеств принимаются по данным лесоустройства за базовые годы исследования (2000 и 2020 гг.).

Значения показателей экосистемных услуг экспертно разделяются на группы уменьшения экосистемной функции и разной интенсивности роста. Комплексный характер анализа составляет матрица, которая аккумулирует эти группы по лесничествам.

Результаты оценки

Биоразнообразие. В основу отбора видов для оценки состояния биоразнообразия положены уникальность, индикативность и проведение лесозаготовительной деятельности, являющейся угрозой для существования. Согласно этим критериям для 145 таксонов по данным двух Красных книг региона рассматривались следующие группы организмов: лишайники (46 таксонов), сосудистые растения (47 таксонов), грибы (23 таксона), мхи (12 таксонов), насекомые (10 таксонов), рептилии (3 таксона) и птицы (4 таксона), чей статус разнообразен (от «1» до «4»). Сохранение разнообразия видов рассматривалось через изменение числа и статуса редких видов, а также территорий их распространения по лесничествам.

Анализ ситуации показал, что эксплуатация лесных массивов незначительно отразилась на численности популяций видов и выразилась только в исчезновении редких видов лишайников на территории ряда лесничеств с высокой интенсивностью лесозаготовительной деятельности. Так, лесопользование привело к исчезновению редких видов лишайников на территории Прилузского, Кажимского, Летского, Койгородского, Сыктывкарского и Печоро-Илычского лесничеств, что фиксирует неблагоприятную ситуацию для сохранения экосистемы.

Изменение природно-климатических условий и условий комфортного существования редких видов птиц, насекомых способствовало в большинстве случаев переводу лесничеств в более мягкую категорию, что свидетельствует о распространности видов.

Несмотря на то что рыбы не принадлежат к видам, угрозой существования которых является лесозаготовка, данная деятельность все же негативно отражается на объемах речного стока, особенно малых водотоков, процессах заиливания, создавая в комплексе некомфортные условия для существования рыб. Поэтому необходимо отметить, что ареалы редких рыб с изменением численности популяций наблюдаются в водных объектах ряда лесничеств среднего течения р. Мезени, магистрального русла р. Вычегды и нижнего течения ее притоков (Выми, Сысолы, Вишеры и Локчима). И на этой территории сложилась хоть и благоприятная, но с начальным уровнем снижения устойчивости ситуация. На территории остальных лесничеств сложилась благоприятная ситуация для сохранения экосистем и биоразнообразия.

Основными факторами, определяющими сохранение биоразнообразия, с учетом интенсивной лесозаготовительной эксплуатации территории являются:

- природные (климатические, стихийные бедствия, заболевания);
- антропогенные (производство, население, транспортная инфраструктура);
- лесохозяйственные (внедрение лесной сертификации, сохранение малонарушенных лесных территорий);
- информационные (мониторинг состояния экосистем, достоверность данных).

В настоящем исследовании акцент сделан на рассмотрении антропогенного фактора.

Антропогенные факторы. Интенсивность лесозаготовительной деятельности различна по территории районов и варьирует с 25-кратной разницей от 0,06 до 1,5 куб. м / га.

Анализ статистических данных по районам за 2000 и 2020 гг. показал снижение антропогенной нагрузки плотности населения для всей территории. Необходимо отметить, что снижение плотности населения не всегда пропорционально отражает уровень изъятия ресурсов и другие негативные последствия для лесных массивов. Здесь огромное значение имеет экологическая грамотность и желание людей сберечь

природу. Экспертная оценка фиксирует повышенную нагрузку изъятия рыбных ресурсов и ресурсов охоты вне зависимости от снижения численности населения и его плотности на территории Усть-Вымского, Троицко-Печорского и Удорского районов.

Хозяйственная деятельность человека и транспортные магистрали способствуют распространению такого негативного эффекта, как внедрение заносных видов. В настоящее время в пределах лесной зоны республики отмечено 170 таких растений: щирца запрокинутая, синяк обыкновенный, клоповник широколистный и др. Особую тревогу вызывает появление опасных карантинных сорняков – амброзии полыннолистной, латука татарского, горчака ползучего. При этом рогозы, донники, пришедшие из культурных посадок люпин и борщевик Сосновского ассимилированы природной флорой.

Лесовозные дороги Республики Коми представлены автомобильными дорогами с песчано-гравийным покрытием и бетонным колеиным покрытием, а также лежневыми дорогами круглогодочного действия, снежно-ледяными дорогами зимнего действия и узкоколейными железными дорогами. Основными путями транспорта, по которым производится вывозка заготовленной древесины в лесничествах, являются дороги общего пользования и специализированные дороги, построенные лесозаготовителями.

Дороги круглогодичного действия являются важным фактором негативного воздействия на биоразнообразие в силу периода использования и нарушения почвенного покрова во время строительства. Максимальный рост плотности автодорожной сети наблюдается на территории Койгородского (в 4,9 раза), Троицко-Печорского (1,7 раза), Усть-Куломского (1,6 раза) и Прилузского (1,4 раза) районов.

Свод агрегированных показателей антропогенной нагрузки по интенсивности лесозаготовительной деятельности, плотности населения и дорожной сети за весь период исследования отражен в *таблице 1*.

Таблица 1. Характеристики антропогенной нагрузки территории интенсивного лесопользования за 2000–2020 гг.

Муниципальный район	Среднегодовая интенсивность лесозаготовки за период, куб. м / га	Плотность населения, чел. / тыс. га		Плотность автодорог, км / тыс. га	
		2000	2020	2000	2020
Сысольский	1,50	30,47	20,10	0,84	0,97
Прилузский	1,27	21,11	12,45	0,37	0,53
Сыктывдинский	1,00	37,01	32,85	0,63	0,61
Койгородский	0,70	9,60	6,91	0,15	0,71
Усть-Куломский	0,65	13,88	8,80	0,36	0,59
Корткеросский	0,51	13,17	9,01	0,29	0,36
Усть-Вымский	0,33	80,21	51,31	1,30	0,86
Удорский	0,23	8,35	4,63	0,34	0,32
Троицко-Печорский	0,09	4,85	2,54	0,09	0,15
Княжпогостский	0,06	12,80	7,52	0,29	0,24

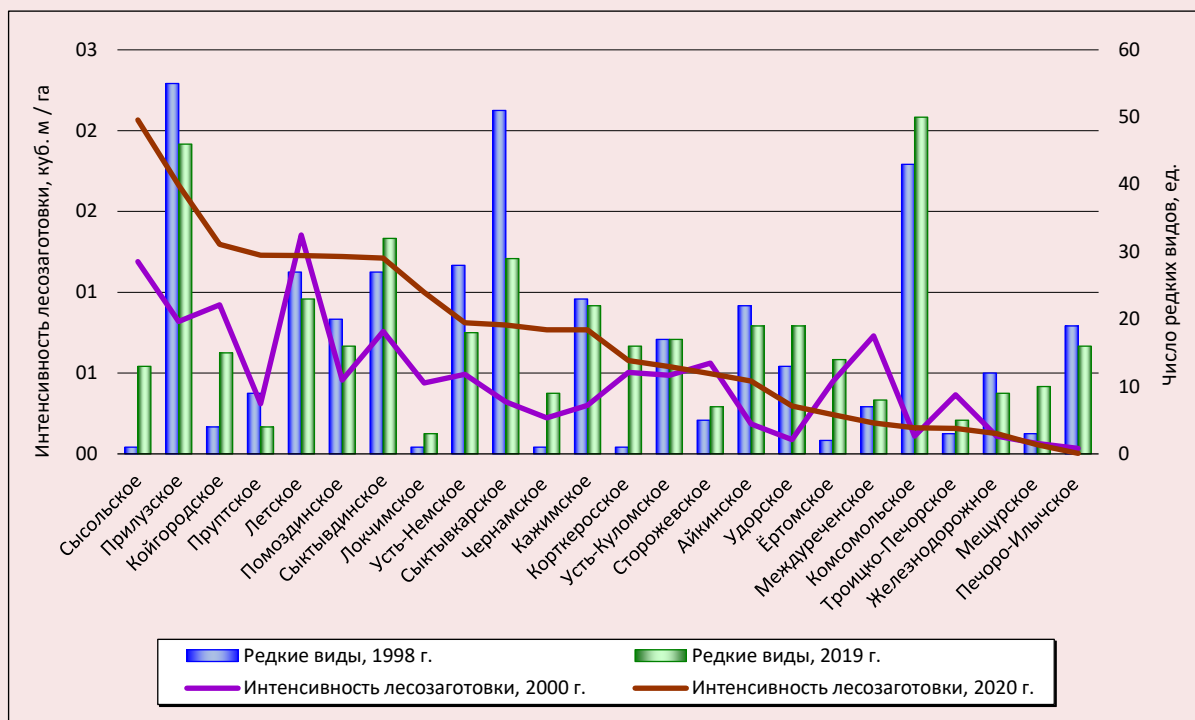
Рассчитано по: данные лесоустройства / Комитет лесов Республики Коми; Социально-экономическое положение городов и районов Республики Коми: стат. сборник / Комистат. Сыктывкар, 2001. 249 с.; Городские округа и муниципальные районы Республики Коми. Социально-экономические показатели. 2021: стат. сборник / Комистат. Сыктывкар, 2021. 285 с.

Маркировка оранжевым цветом указывает на повышенную нагрузку; желтый цвет отражает среднюю нагрузку, зеленый – минимальную нагрузку. По сочетанию трех факторов можно отметить, что на террито-

рии Сысольского и Сыктывдинского районов наблюдается максимальный антропогенный пресс.

Изменение числа редких видов зафиксировано на большинстве территорий (рис. 1).

Рис. 1. Воздействие интенсивности лесозаготовительной деятельности на сохранение биоразнообразия



Источник: результаты авторского анализа.

Снижение числа редких видов наблюдается на территории лесничеств, максимально приближенных к главному центру переработки сырья г. Сыктывкару и более тщательно изученных: Прилузского, Летского, Кажимского, Айкинского, Усть-Немского, Помоздинского, Железнодорожного и Печоро-Ильчского. Влияние интенсивности лесозаготовительных работ на снижение числа редких видов наблюдается в единичных случаях долговременной заготовки (в Койгородском, Прилузском, Сыктывкарском лесничествах).

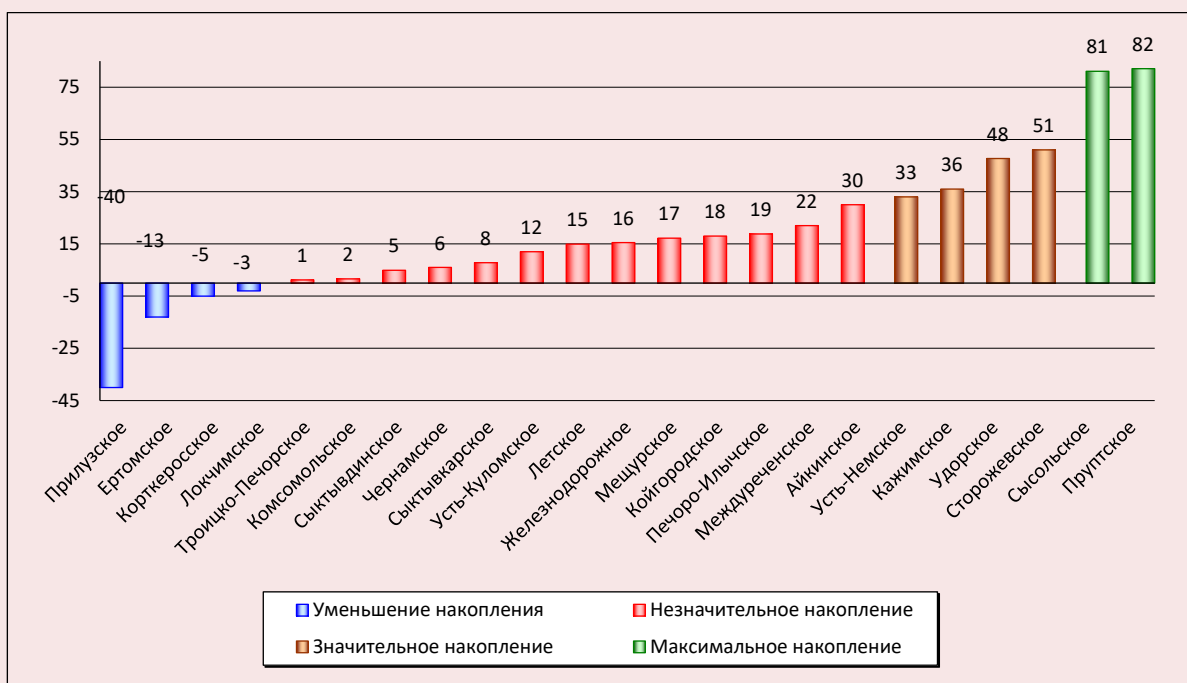
Другая категория изменений – рост числа редких видов, то есть их распространение. Основные причины такой ситуации в Сысольском, Койгородском, Чернамском, Ертомском и Комсомольском лесничествах заключаются в изученности и мониторинге территории, сравнительно низкой антропогенной нагрузке.

Результаты оценки водорегулирующей функции по районам территории активного лесопользования региона показали, что основными факторами прироста стали увеличение сред-

негодовых суммарных осадков, изменение бонитета и площадей, занимаемых молодыми и средневозрастными хвойными породами. Дифференциация прироста подземного стока по лесничествам за счет изменения лесорастительных характеристик представлена на *рисунке 2*.

Как видно на рисунке 2, уменьшение накопления стока в подземных горизонтах наблюдается в четырех лесничествах. При этом увеличение общей площади лесонасаждений не влияет на объемы стока. Основной причиной таких изменений является снижение бонитета в структуре возрастных пород, причем как хвойных, так и лиственных насаждений. Например, на территории Прилузского лесничества бонитеты молодых и средневозрастных пород перешли из II категории в III–V категорию в 2020 году, что внесло коррективы в уменьшение накопления подземного стока (-40,0 млн. куб. м). Сокращение площадей средневозрастных пород за этот период также отразилось на величине объема подземного стока.

Рис. 2. Прирост подземного стока лесничеств за период 2008–2020 гг., млн. куб. м



Источник: результаты авторского анализа.

Водоохранная функция. Приращение стока в реках происходит за счет увеличения площади лесов и лесистости в целом по лесничествам. Соответственно, уменьшение объема стока обусловлено сокращением площадей лесных насаждений. За период исследования водные объекты большинства лесничеств не выявили значительные потери стока. Однако за счет сокращения лесных площадей и лесистости на территории ряда лесничеств произошло уменьшение аккумулирования стока в водных объектах.

Дифференциация прироста поверхностного стока по лесничествам за счет изменения лесорастительных характеристик представлена на рисунке 3. Максимальный прирост поверхностного стока на территории четырех лесничеств обеспечен за счет увеличения площади лесных насаждений на 15–25 тыс. га и лесистости — на 1–1,5%.

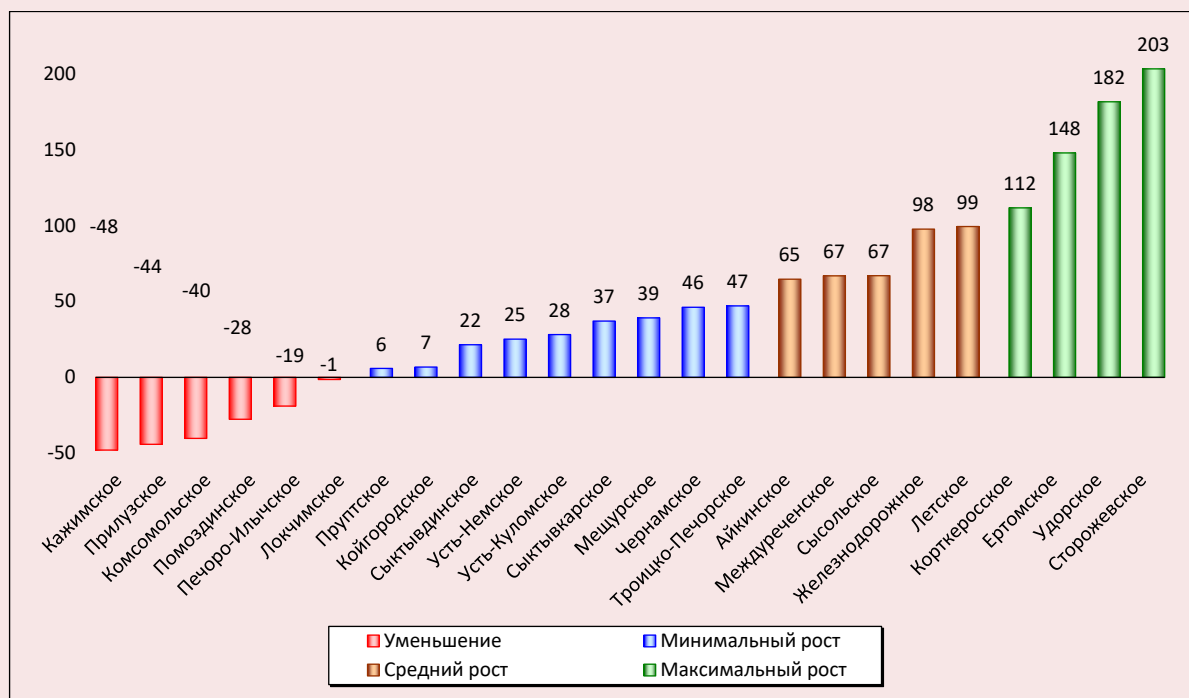
Лесозаготовительные работы и уменьшение площади лесов отражаются на водности малых притоков реки Печоры на территории Комсомольского и Печоро-Илычского лесничеств.

Значительного ухудшения состояния накопления поверхностного стока не наблюдается. Сохранение удовлетворительного состояния поверхностного речного стока, его значительное накопление фиксируется на территории лесничеств Удорского и Корткеросского районов благодаря значительным площадям резерватов (малонарушенных территорий, в том числе и ООПТ) и средневозрастных лесов хвойных пород.

Водоохранные полосы вдоль водных объектов (рек, ручьев, а также озер) принадлежат к площадным характеристикам функции водоохраны. Однако информация по этим зонам фиксируется протяженностью их обустройства.

Проведение работ по обустройству водоохранных зон вдоль водных объектов началось в 2007 году и охватывало лишь крупные реки. С 2013 года ежегодная статистика для крупных рек и их притоков по муниципальным районам приводится в отчетах Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми.

Рис. 3. Прирост поверхностного стока в 2000–2020 гг., млн. куб. м



Источник: результаты авторского анализа.

Установление границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос на местности в приоритетном порядке осуществляется на водных объектах, которые используются для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, на участках, расположенных в границах поселений. Общая протяженность установленных водоохранных зон в 2007–2021 гг. на территории лесничеств интенсивного лесопользования составила 2448 км. Основная цель их обустройства заключается в обеспечении безопасности водоснабжения населения, поэтому доля организованных водоохранных зон чрезвычайно мала по отношению к общей протяженности речной сети. Согласно проведенным расчетам, она не превышает 1% от протяженности речной сети каждого района, за исключением Усть-Куломского (3%) и Усть-Вымского (5%). Таким образом, наиболее уязвимы малые водотоки, организация и обеспечение защитных полос которых полностью лежит на арендаторах лесных объектов, осуществляющих лесозаготовку.

На территории большинства лесничеств происходит накопление подземного стока крупных рек: Вычегды, Выми и Печоры и их притоков. Проведение рубок, которые привели к изменению бонитета и полноты хвойных и лиственных насаждений, особенно проявилось в Прилузском, Ертомском, Корткеросском и Локчимском лесничествах. На интенсивность накопления подземного стока большее влияние оказали осадки, нежели рубки, поэтому практически повсеместно произошел рост аккумуляции накопления воды в подземных горизонтах. Короткий диапазон имеющихся статистических данных (2008–2020 гг.) о состоянии лесорастительных характеристик лесов (бонитет и полнота хвойных и лиственных пород) не позволяет выявить значительные изменения или существенную восприимчивость леса к антропогенным изменениям.

Водоохранная функция лесов, выраженная в приросте накопления поверхностного стока рек, за период исследования для большинства лесничеств сохранила и прирастила свое исходное состояние. Лесозаготовка отразилась сокращением речного стока основных притоков

Сысолы и Печоры – на территории Кажимского, Прилузского, Помоздинского, Комсомольского и Печоро-Илычского лесничеств. Водоохранные зоны малых водотоков, удаленных от крупных населенных пунктов, не обустроены, что повышает возможность заиливания водных источников.

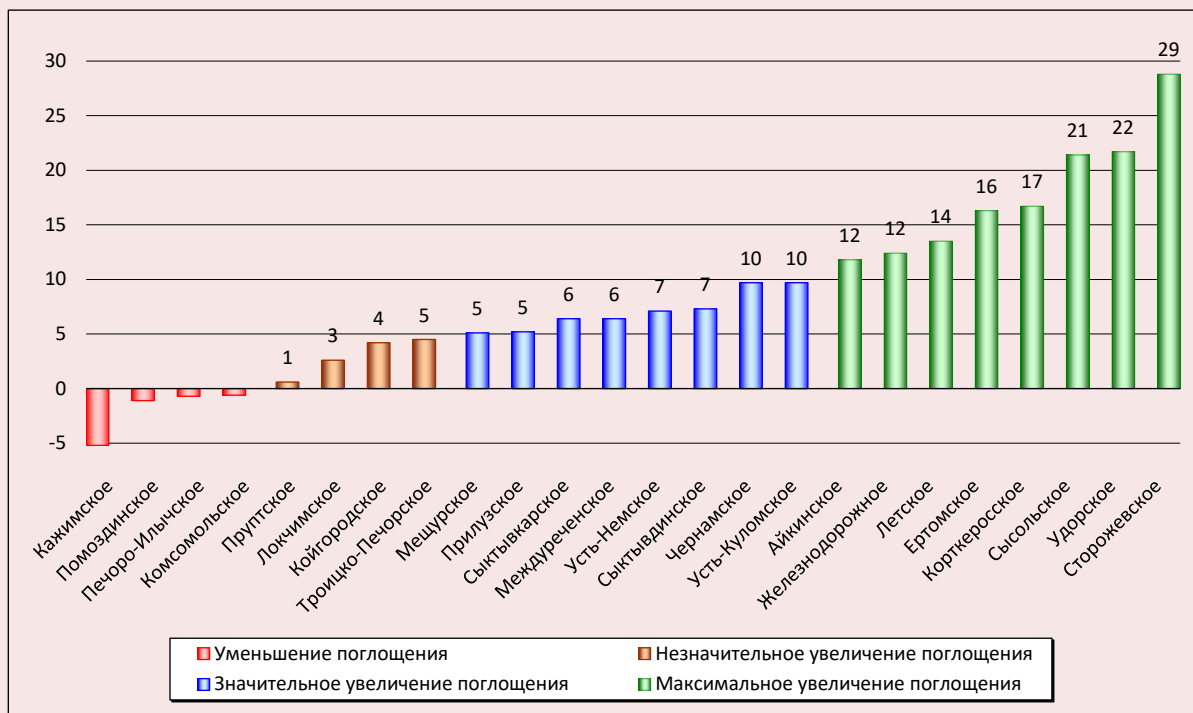
Большинство экосистем территории лесничеств одинаково отреагировали на проведение лесозаготовительных работ наращиваем объемов накопления подземного и поверхностного стоков. Такая ситуация является благоприятной и характерна для следующих лесничеств: Летское, Койгородское, Сыктывкарское, Сыктывдинское, Троицко-Печорское, Усть-Куломское, Усть-Немское, Чернамское, Сысольское, Айкинское, Удорское, Междуреченское, Мещурское и Железнодорожное. На остальной территории происходит либо сокращение накопления стока обеих функций, либо одной из экологических услуг.

Изменение поглотительной способности углерода лесными экосистемами зависит от площади лесов: приращение обусловлено ростом, уменьшение – сокращением площадей лесных насаждений. Данный подход к оценке аккумуляции углерода не учитывает качество лесонасаждений (возраст, полноту, бонитет), он отчасти отражает реальную ситуацию, позволяет выявить дифференциацию поглотительной способности лесов за двадцать лет их эксплуатации (рис. 4).

Для лесных экосистем проведен расчет поглощения углерода с использованием удельных показателей поглотительной способности бореальных лесов на уровне $1,15 \text{ т CO}_2 / \text{га}$ (Dolman et al., 2012).

Расчеты показали, что на большей части территории лесничеств происходит прирост поглотительной способности углерода лесами. Максимальной способностью обладают леса Летского, Сысольского, Корткеросского, Сторожевского, Удорского, Ертомского, Железнодорожного и Айкинского лесничеств, что объясняется значительным приращением площади хвойной растительности. На данных территориях за период исследования произошли позитивные изменения бонитета молодых и средневозрастных хвойных и лиственных пород леса, которые обладают максимальной способностью

Рис. 4. Дифференциация аккумуляции углерода по лесничествам за 2000–2020 гг., тыс. т



Источник: результаты авторского анализа.

поглощения углерода, а также площадей, занимаемых этими породами, что усилило интенсивность поглощения углерода (табл. 2).

Таким образом, практически вся территория рассматриваемых лесничеств обладает мощной

способностью поглощения углерода, и за период исследования данная способность не только сохранилась, но и усилилась. Рост поглощения углерода служит индикатором благоприятного состояния лесных экосистем.

Таблица 2. Причины максимального поглощения углерода за период исследования

Лесничество	Изменения лесорастительных характеристик
Летское	Повышение бонитета молодых возрастных структур хвойных пород леса; увеличение площадей приспевающих возрастных структур хвойных и средневозрастных лиственных пород
Сысольское	Повышение бонитета молодых и приспевающих возрастных структур хвойных пород; рост площадей спелых возрастных структур хвойных и лиственных пород
Корткеросское	Рост площадей молодых и средневозрастных хвойных пород
Сторожевское	Повышение бонитета молодых возрастных структур пород хвойных лесов; увеличение площадей приспевающих и спелых возрастных структур хвойных и средневозрастных лиственных пород
Удорское	Повышение бонитета молодых возрастных структур пород хвойных лесов; рост площадей средневозрастных хвойных пород и спелых возрастных структур лиственных пород
Ертомское	Рост площадей средневозрастных структур хвойных и лиственных пород
Железнодорожное	Повышение бонитета молодых возрастных структур хвойных пород; рост площадей спелых хвойных пород
Айкинское	Повышение бонитета приспевающих возрастных структур хвойных пород; рост площадей средневозрастных и приспевающих хвойных и спелых лиственных пород

Источник: результаты авторского анализа.

Экспертным методом вся зона активного лесопользования разделена на территории со снижением благоприятности экосистем, а также незначительного, умеренного и значительного роста благоприятности по функции поглощения углекислого газа, водорегулирования подземного стока и водоохранной функции, а также уровня сохранения биоразнообразия лесными экосистемами.

Обсуждение

Комплексная оценка учета функций и благ природы позволяет обобщить результаты и представить общий уровень устойчивости по степени благоприятности экосистем к антропогенным на-

грузкам за длительный период хозяйствования. Такая оценка осуществлена по лесничествам в двух форматах: *матрицы* с цветовой маркировкой состояния отдельных видов услуг и *картосхемы*, отражающей территориальную дифференциацию благоприятности экосистемы и соответствующий ее состоянию режим эксплуатации. Обобщение тенденций изменения биоразнообразия и рассмотренных экосистемных функций за исследуемый период: сохранения или исчезновения редких видов, водорегулирования (прироста/убыли подземного стока), водоохраны (накопления поверхностного стока), поглощения углерода – представлено в *таблице 3*.

Таблица 3. Типы состояния экосистем территории активного лесопользования и предлагаемые режимы эксплуатации

Лесничество	Сохранение биоразнообразия	Водо-регулирование	Водоохрана	Поглощение углерода
Особо строгий режим эксплуатации (неблагоприятное состояние экосистемы)				
Прилузское				
Кажимское				
Печоро-Илычское				
Строгий режим эксплуатации (благоприятное состояние экосистемы)				
Помоздинское				
Локчимское				
Комсомольское				
Летское				
Койгородское				
Сыктывкарское				
Ертомское				
Корткеросское				
Режим эксплуатации с ограничениями (благоприятное состояние экосистемы)				
Троицко-Печорское				
Усть-Куломское				
Чернамское				
Усть-Немское				
Мещурское				
Сыктывдинское				
Междуреченское				
Пруптское				
Айкинское				
Железнодорожное				
Общий режим эксплуатации (благоприятное состояние экосистемы)				
Сторожевское				
Сысольское				
Удорское				
	Неблагоприятное состояние экосистемы, снижение устойчивости			
	Незначительный рост устойчивости			
	Значительный рост устойчивости			
	Максимальное увеличение устойчивости экосистемы			
Источник: результаты авторского анализа.				

Результаты анализа всех экосистемных услуг с учетом активизации или ослабления функций позволили обозначить благоприятные и неблагоприятные территории (лесничества) в зоне активного лесопользования. По соотношению положительных и негативных тенденций изменения экосистемных функций проведена углубленная дифференциация состояния и группировка лесничеств по характеру ограничений и рекомендуемому режиму эксплуатации с учетом необходимых природоохранных мероприятий и снижения антропогенной нагрузки. Матрица состояния экосистем лесничеств визуализирована на картосхеме (рис. 5).

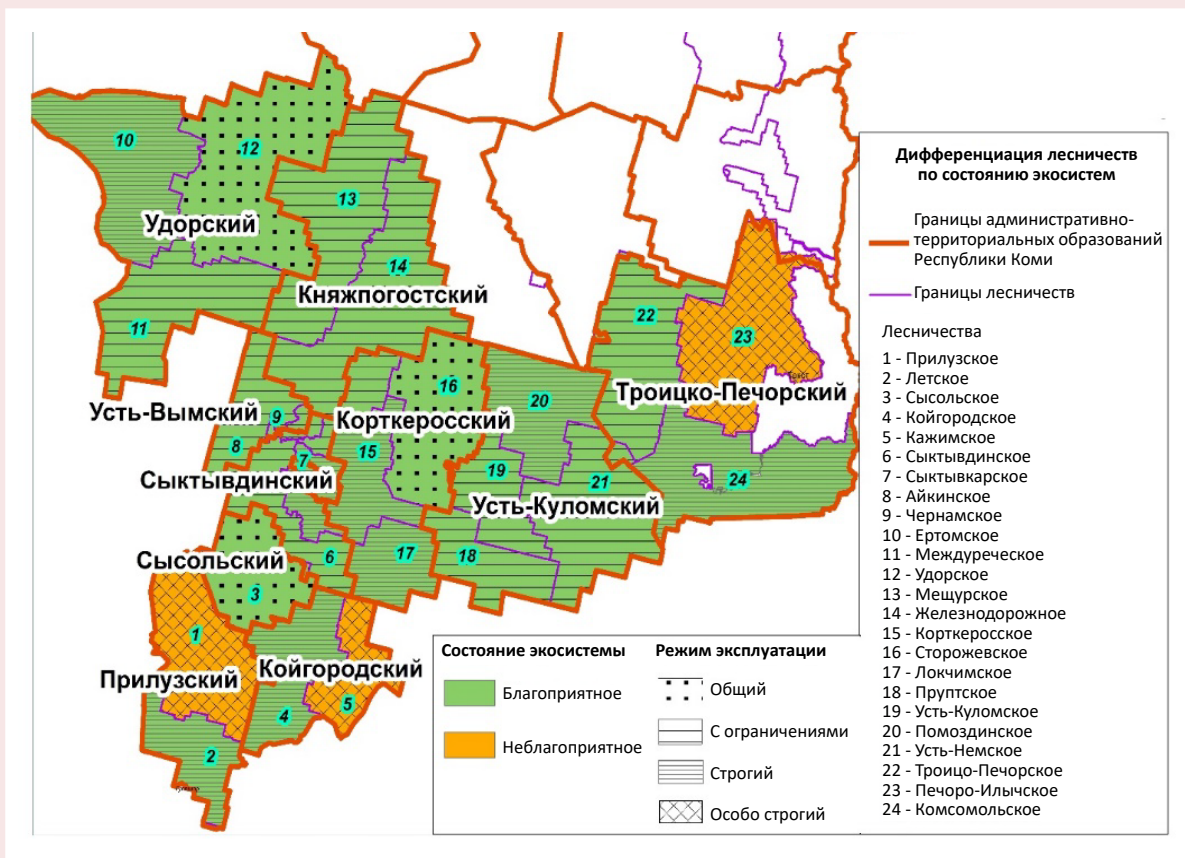
Ситуация, когда экосистема подвержена мощному прессингу, в результате которого произошло снижение устойчивости по трем позициям экосистемных услуг, характеризует неблагоприятное состояние экосистемы.

При этом рекомендуется особо строгий режим эксплуатации с максимальным сокращением проведения рубок. Такая ситуация сложилась на территории Прилузского, Кажимского и Печоро-Ильчского лесничеств.

Преобладающая часть зоны активного лесопользования отнесена к территории благоприятного экологического состояния, где предложены общий, с ограничениями и строгий режимы эксплуатации.

Строгий режим эксплуатации рекомендуется на территории тех лесничеств, где наблюдается снижение устойчивости у одной или двух экосистемных функций. Это либо снижение накопления воды в поверхностных или подземных горизонтах, либо уменьшение поглощения углерода лесными массивами, либо утрата

Рис. 5. Дифференциация лесничеств по состоянию экосистем за 2000–2020 гг. и предлагаемому режиму эксплуатации



Источник: результаты авторского анализа.

местообитаний редких видов флоры и фауны. Такой режим включает обязательное проведение лесозаготовительной деятельности в соответствии с лесной сертификацией, установку информационных щитов водоохранной зоны малых рек, повышенное внимание природоохранных органов. Эта ситуация характерна для следующих лесничеств: Помоздинское, Локчимское, Комсомольское, Летское, Койгородское, Сыктывкарское, Ертомское и Корткеросское.

Режим эксплуатации с ограничениями соответствует состоянию экосистемы, когда нет ослабления экосистемных функций, но экосистема находится в пограничном состоянии начального или среднего уровня восприятия негативных последствий. На территории Сыктывдинского, Пруптского, Усть-Куломского, Усть-Немского, Междуреченского, Железнодорожного, Мещурского, Чернамского, Айкинского, Троицко-Печорского лесничеств происходит рост поглощения углерода и аккумуляции воды в подземных и поверхностных горизонтах; сохранение редких видов животных и рыб, а также ареалов распространения сосудистых растений. Однако здесь наблюдаются признаки пограничного состояния — в характеристиках состояния превалирует незначительный рост устойчивости, что диктует ограничения антропогенного характера, в частности при проведении лесозаготовок.

Общий режим эксплуатации с выполнением всех нормативных обязательств рекомендован на территории, где благоприятная ситуация обеспечивается максимальным увеличением устойчивости нескольких экосистемных функций. Этим лесничествам присуща стабильность состояния, означающая, что экосистема справляется с фактическими или прошлыми (характерно для Удорского лесничества) нагрузками либо реальная нагрузка не превышает емкость системы. На территории Сторожевского, Удорского и Сысольского лесничеств произошло сохранение ареалов обитания ценных рыб и животных. За счет прироста площади лесов накоплен поверхностный сток воды в реках; высок уровень накопления углерода. Следует также отметить, что для этих территорий характерны высокая доля малонарушен-

ных лесов (Удорское лесничество) и объектов комплексной экологической охраны (Корткеросское лесничество).

Качественный анализ ситуации ограничили неполная информационная база лесорастительных характеристик (бонитета и полноты по всем возрастным категориям хвойных и лиственных пород), а также непродолжительный диапазон (2008–2020 гг.) наблюдения, за время которого не произошел переход лесонасаждений в другую возрастную категорию, для чего требуется, как минимум, 20–25 лет. Тем не менее множество показателей имело достаточный диапазон наблюдений (с 2000 по 2020 год) и отражает адекватную ситуацию происходящего воздействия на природную среду.

Заключение

Учет экосистемных функций при оценке состояния природного капитала на территории интенсивного лесопользования региона в динамике двадцати лет носит пионерный характер. Оценка биоразнообразия и регулирующих услуг отразила следующие позиции:

- лесозаготовительная деятельность за период исследования не привела к значительному снижению численности известных популяций редких видов;

- транспортная сеть, способствующая доступу к природным ресурсам, не оказала значительного влияния в связи с ее малой плотностью;

- снижение численности ценных рыб наблюдается в бассейнах рек Мезени, Вычегды и ее притоков из-за браконьерства и уменьшения речного стока малых водотоков, вызванного интенсивной рубкой лесов;

- на территории большинства лесничеств происходит накопление подземного стока; значительного ухудшения накопления поверхностного стока, несмотря на проведение лесозаготовительных работ и уменьшение водности малых притоков основных рек, не наблюдается;

- водоохрана малых водотоков находится в числе социально-экологических обязанностей лесозаготовителей;

- практически вся территория активного лесопользования обладает мощной способностью поглощения углерода, за период исследования данная способность не только сохранена, но и приращена.

В целом можно констатировать относительную стабильность состояния экосистемных услуг на территории лесничеств за период 2000–2020 гг. Несмотря на относительно комфортные природные условия, территории ряда лесничеств южной части региона подвержены эксплуатационной нагрузке, которая может препятствовать восстановлению лесных экосистем. Вследствие интенсивных рубок могут возникнуть угрозы снижения биоразнообразия, ослабления функций накопления подземного стока и аккумуляирования поверхностного стока.

Данный алгоритм оценки состояния экосистемы может применяться для крупных лесозаготовительных компаний, больших площадей аренды лесозаготовителей в различных российских регионах. Полученные данные могут способствовать элементам планирования оптимального перечня природоохранных мероприятий. С учетом накопленного зарубежного опыта перспективные исследования могут быть связаны с проведением стоимостной оценки экоуслуг в целях анализа возможности компенсации средств для восстановления природы применительно к крупным лесозаготовителям региона.

Литература

- Дмитриева Т.Е. (2022). Подходы к оценке природного капитала: зарубежный опыт // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Экономические науки». № 3 (55). С. 35–46. DOI 10.19110/1994-5655-2022-3-35–46
- Лебедев Ю.В., Неклюдов И.А. (2012). Оценка водоохранно-водорегулирующей роли лесов. Екатеринбург: УГЛТУ. 36 с.
- Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми (2000) /под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М.: Издательско-продюсерский центр «Дизайн. Информация. Картография». 512 с.
- Лиханова Н.В. (2012). Изменение биоразнообразия и массы растений напочвенного покрова ельников средней тайги после сплошнолесосечной рубки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 14. № 1(5). С. 1309–1312.
- Птичников А.В., Карелин Д.В., Котляков В.М. [и др.] (2019). Применимость международных индикаторов оценки нейтрального баланса деградации земель к Бореальным лесам России // Доклады Академии наук. Т. 489. № 2. С. 195–198. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524892195-198>
- Тихонова Т.В. (2017). Эколого-экономическая оценка водорегулирующей функции сельских территорий Республики Коми // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 10. № 3. С. 209–226. DOI: 10.15838/esc/2017.3.51.11
- Тихонова Т.В. (2022). Подходы к измерению экосистемных услуг на территории лесопользования // Известия КНЦ. № 3. С. 56–65. DOI: 10.19110/1994-5655-2022-3-56-65
- Тишков А.А. (2010). Биосферные функции и экосистемные услуги национального парка «Валдайский» // Тр. НП «Валдайский». Вып. 1. С. 70–77.
- Учет и оценка экосистемных услуг – Опыт, особенно Германии и России (2014) / сост. К. Груневальд, О. Бастиан, А. Дроздов, В. Грабовский. Bundesamt für Naturschutz. Bonn. Available at: http://www.kulunda.eu/sites/default/files/BfN_Skript_373.pdf
- Экономика сохранения биоразнообразия (2002) / под ред. А.А. Тишкова. М.: Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия Российской Федерации», Институт экономики природопользования. 604 с.
- Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 1. Услуги наземных экосистем (2016). М.: Изд-во Центра охраны дикой природы. 148 с.
- Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 2. Биоразнообразие и экосистемные услуги: принципы учета в России (2020). М.: Изд-во Центра охраны дикой природы. 252 с.
- Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 3. Зелёная инфраструктура и экосистемные услуги крупнейших городов России (2021) / ред. О.А. Климанова. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы. 112 с.
- Burkhard B., Müller F. (2013). Indikatoren und Quantifizierungsansätze. In: Grunewald K., Bastian O. (Eds.). *Ökosystemdienstleistungen – Konzept, Methoden und Fallbeispiele*. Heidelberg: Springer Spektrum Verlag. Available at: <https://www.springer.com/de/book/>

- Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D. et al. (2012). An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods. *Biogeosciences*, 9, 5323–5340. DOI: 10.5194/bg-9-5323-2012
- Kripa S., Bandana S., Biraj A. et al. (2023). Ecosystem services valuation for conservation and development decisions: A review of valuation studies and tools in the Far Eastern Himalaya. *Ecosystem Services*, 61. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101526>
- Lilford E. (2023). Natural resources: Cost of capital and discounting – risk and uncertainty. *Resources Policy*, 80. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103242>
- Ruqian Zhang, Penghui Li, Liping Xu, Shuai Zhong (2023). *Reconciling ecological footprint and ecosystem services in natural capital accounting: Applying a novel framework to the Silk Road Economic Belt in China*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117115>
- Syrbe R., Rosenberg M., Vowinckel J. (2013). SzenarioEntwicklung und partizipative Verfahren. In: Grunewald K., Bastian O. (Eds.) *Ökosystemdienstleistungen – Konzept, Methoden und Fallbeispiele*. Berlin: Springer.
- Zegeye G., Erifo S., Addis G., Gebre G.G. (2023). Economic valuation of urban forest using contingent valuation method: The case of Hawassa city. *Trees, Forests and People*, 12. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100398>

Сведения об авторе

Татьяна Вячеславовна Тихонова – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (167982, Российская Федерация, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 26; e-mail: tikhonova@iespn.komisc.ru)

Tikhonova T.V.

Consideration of Ecosystem Functions in Assessing the Condition of Natural Capital in the Northern Region

Abstract. The concept of natural capital goes beyond nature as a source of raw materials for production and includes consideration of the environment and ecosystems condition in maintaining human well-being. For sustainable resource use, it is first necessary to determine the stability of ecosystems to a variety of anthropogenic and technogenic loads. The natural capital of forests includes not only forest (primarily wood) resources, but also the full range of ecosystem services, associated with a healthy habitat. The aim of the study is to assess the condition of ecosystems in the active forestry zone of the Komi Republic due to the long-term use. The novelty of the study lies in identifying the degree of ecosystem stability in this area of the region. We use general scientific methods of analysis, synthesis, comparison, generalization, computer-cartographic form tools, based on the use of ArcView program. Assessment of natural capital components made it possible to differentiate forestry according to the positions “biodiversity conservation”, “water regulation”, “water protection”, “carbon sequestration”; to identify the nature of restrictions and recommend the operation mode, taking into account the necessary environmental protection measures and reduction of anthropogenic load. The relative stability of the ecosystem over the period 2000–2020 was revealed. Threats are expressed in a slight reduction of biodiversity, weakening of groundwater flow accumulation and surface runoff accumulation functions due to intensive logging of low-age forest species. The predominant part is classified as an area of favorable ecological condition, where different operation modes are proposed. However, in a number of forestries there is a situation, when the ecosystem is under strong pressure, which caused a decrease in the stability of the three positions of ecosystem services and characterizes an unfavorable condition of the ecosystem. In this case, a particularly strict operation mode of forest ecosystems with maximum reduction of logging is recommended. Prospective studies are related to the cost estimation of ecosystem services to analyze the possibility of compensating funds for nature restoration in relation to large loggers in the region.

Key words: ecosystem services, biodiversity conservation, assessment of water protection and water regulating functions, carbon sequestration capacity, ecosystem accounting, forest management, Komi Republic.

Information about the Author

Tatyana V. Tikhonova – Candidate of Sciences (Economics), Senior Researcher, Institute of Socio-Economic and Energy Problems of the North, Federal Research Center Komi NC Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (26, Kommunisticheskaya Street, Syktyvkar, 167982, Russian Federation; e-mail: tikhonova@iespn.komisc.ru)

Статья поступила 26.05.2023.