

С.А. Некрасов  
ЦЭМИ РАН, Москва

## Управление природопользованием с позиций энергоперехода на примере Рыбинского водохранилища

**Аннотация.** Общемировой тенденцией становится рост затрат на энергоснабжение по мере все более широкого распространения технологий снижения выбросов парниковых газов. Следствием проектов поглощения CO<sub>2</sub> на российских тепловых электростанциях станет удорожание производимой ими электроэнергии на 120–230%, что негативно повлияет на социально-экономическое развитие страны. Предлагаемая международным сообществом абсорбция углекислого газа из уходящих газов в промышленности и энергетике является капиталоемким и энергозатратным процессом. Альтернатива предотвращения повышения стоимости энергоснабжения для Российской Федерации – снижение негативного антропогенного воздействия путем использования ее природного потенциала. Целью статьи является обоснование необходимости изменения методологии решения задачи перехода к безуглеродной энергетике. В отличие от перенесения в Россию апробированных на Западе проектов абсорбции CO<sub>2</sub> уходящих газов промышленности и энергетике следует основываться на системном подходе к секвестру углекислого газа с использованием не реализованных в настоящее время возможностей. На примере исследования управления природопользованием в районе Рыбинского водохранилища показано существование более эффективного решения по сравнению с реализуемыми в западных странах проектами сокращения содержания CO<sub>2</sub>. В связи с ростом мощности энергосистемы, опережающей электропотребление, значимость производства электроэнергии Рыбинской ГЭС значительно снизилась. Платежи за утилизацию парниковых газов за счет восстановления леса будут не менее чем в 13 раз превышать снижение выручки ГЭС при изменении уровня ее водохранилища. За счет восстановления лесов на части территории водохранилища в результате самозарастания относительно сегодняшнего уровня (базовой линии) можно обеспечить верифицированный секвестр более 1,5 млн т CO<sub>2</sub> в год, что эквивалентно реализации проектов улавливания CO<sub>2</sub> уходящих газов на газовых электростанциях мощностью не менее 920 МВт.

**Ключевые слова:** сокращение эмиссии парниковых газов, восстановление лесов, возобновляемые источники энергии, экологически чистое производство электроэнергии, гидроэнергетика.

Классификация JEL: Q48, Q26, P42.

Для цитирования: **Некрасов С.А.** (2023). Управление природопользованием с позиций энергоперехода на примере Рыбинского водохранилища // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 4 (61). С. 110–126.

DOI: 10.31737/22212264\_2023\_4\_110-126

EDN: CMKUCR

### Постановка проблемы

Изменение климата – одна из самых серьезных проблем, стоящих перед человечеством в этом столетии<sup>1</sup>. Несмотря на отсутствие единодушия в понимании причин изменения климата в мировом сообществе, официальная позиция ООН и большинства стран связывает этот вопрос с сокращением антропогенной эмиссии парниковых газов (Макаров, 2008). Задачей является сокращение их выброса, что зафиксировано в Парижском соглашении, принятом в декабре

<sup>1</sup> IPCC. Global Warming of 1.5 °C ([https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15\\_SPM\\_version\\_stand\\_alone\\_LR.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf)); IEA. (2019). Global Energy & CO2 Status Report (<https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019>).

2015 г., целью которого является смягчение изменений климата в результате возрастающей антропогенной нагрузки. В настоящее время установлено, что объявленных национальных вкладов в этот процесс недостаточно для удержания потепления в пределах данного значения. Эти вполне конкретные и официальные заявления были сделаны при активном использовании прогнозных результатов Пятого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) (Замолодчиков, 2021). В России более 70% выбросов парниковых газов приходится на предприятия топливно-энергетического комплекса<sup>2</sup>. Основным путем сокращения выбросов в энергетике, предлагаемым мировым сообществом, является их улавливание и последующее захоронение, что приводит к существенному удорожанию энергоснабжения конечных потребителей и снижению конкурентоспособности производимой ими продукции (Rubin, Davison, Herzog, 2015; Large pilot testing ..., 2020; Stanger et al., 2015).

Наименее затратной технологией улавливания углекислого газа после сжигания топлива (нефти, газа, угля, биомассы и т.п.) является химическая абсорбция CO<sub>2</sub> из дымовых газов. Более капиталоемки технологии улавливания CO<sub>2</sub>, основанные на использовании для сжигания заранее полученного кислорода, а также на абсорбции CO<sub>2</sub> из окружающего воздуха (Gaurina-Medimures, Novak Mavar, Majić, 2018; Theo et al., 2016; Kim et al., 2017).

С учетом ограничений выбросов парниковых газов системами улавливания CO<sub>2</sub> должны быть оснащены не менее 25% газовых и 70% угольных электростанций в России к 2050 г. (Лагерева, Ханаева, 2010).

Проблема изменения климата и энергоперехода на технологии с меньшим негативным антропогенным воздействием будет все в большей степени определять вектор развития мировой экономики. В 2021 г. в администрации Президента США начали использовать принципиально новую лексику: изменение климата названо «экзистенциальной угрозой», провозглашен общегосударственный подход к тому, чтобы поставить изменение климата в центр национальной безопасности и внешней политики. Тем самым климатической повестке дан сверхвысокий статус и приоритет над остальными направлениями деятельности администрации США (Рогинко, 2021). В условиях трансформации приоритетов международной политики 2022 г. значимость долгосрочной задачи снижения негативного антропогенного воздействия не снижается как в ООН, так и в Российской Федерации<sup>3</sup>.

После декабря 2022 г. цены на выбросы углекислого газа установились на уровне 80 долл. США/т, что находится в полном соответствии с ранее сделанным прогнозом нобелевского лауреата по экономике 2001 г. Дж. Стиглицца<sup>4</sup>. Результатом оплаты выбросов по предложенной ставке (а после декабря 2022 г. цены на выбросы углекислого газа установились на уровне 80 долл. США/т) станет удорожание электроэнергии на газовых электростанциях: на парогазовых — на 3,7, на паротурбинных — на 5,4; на угольных — на 7 центов/кВт×ч. Применение в России подобного решения вызовет рост цен на электроэнергию

<sup>2</sup> Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах», 2018 г. (<https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/902/gosdoklad.pdf>).

<sup>3</sup> «ООН раскрыла главные способы спасти человечество от катастрофы». Новостной портал Lenta.ru, 05.04.2022 ([https://lenta.ru/news/2022/04/05/ipcc/?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop](https://lenta.ru/news/2022/04/05/ipcc/?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop)); «В НИУ ВШЭ считают, что энергополитика России не позволит достичь экологических целей». Новостной портал ТАСС, 07.04.2022 ([https://tass.ru/ekonomika/14304821?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop&utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2Fnews%2Fsearch%3Ftext%3D](https://tass.ru/ekonomika/14304821?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2Fnews%2Fsearch%3Ftext%3D)).

<sup>4</sup> Strategy for International Climate Negotiations. Available at: <https://carbon-price.com/climate/experts/joseph-stiglitz/>

Таблица

Показатели производственной деятельности теплоэнергетики и теплоснабжения РФ в 2018 г. по видам топлива

Показатели	Структура потребления топлива в теплоэнергетике и теплоснабжении в РФ 2018 г. по видам топлива		Коэффициент пересчета эмиссии CO <sub>2</sub> при сжигании т/т у.т.	Эмиссия CO <sub>2</sub> , млн т
	%	млн т у.т.		
Газовое топливо	77,5	300,4	1,603	481,5
Твердое и прочие виды топлива	18,5	71,7	3,581	256,7
Нефтепродукты	3,5	13,6	2,172	29,5
Прочее топливо	0,5	2	Не более 4,412	Не более 8,8
Итого	100	387,6		776,5

Источник: составлено по данным (Теплоэнергетика ..., 2020).

тепловых электростанций (ТЭС) от 120 до 230%. Ежегодная эмиссия CO<sub>2</sub> российских ТЭС и котельных составляет 776 млн т (см. таблицу). Соответственно, введение оплаты выбросов из расчетов 80 долл. США/т вызовет дополнительную ежегодную нагрузку на отечественную экономику не менее 62 млрд долл. США в год, или в пересчете на семью из 4 человек — 1700 долл. США в год. Данное значение учитывает загрязнение воздушного бассейна углекислым газом только предприятиями энергетики и не включает платежей за эмиссию CO<sub>2</sub> промышленности, транспорта, сельского хозяйства.

Однако достигнутый уровень в 80 долл. США/т CO<sub>2</sub> — только начальный этап предлагаемого мировым сообществом увеличения финансовой нагрузки на эмитентов углекислого газа. Согласно докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) на Конференции ООН по климату в Катовице (декабрь 2018 г.) правительствам необходимо будет ввести эффективные цены на углерод от 135 до 5500 долл. США/т CO<sub>2</sub> к 2030 г., чтобы общее глобальное потепление было ниже 1,5 °С (Рогинко, 2019). В случае роста экологических платежей за выбросы CO<sub>2</sub> только до нижнего предлагаемого значения полученные выше оценки дополнительной финансовой нагрузки на экономику России следует увеличить на 68%.

Соблюдение ограничений, налагаемых Парижским соглашением о выбросах парниковых газов, и реализация проектов, направленных на снижение антропогенного воздействия на окружающую среду, будет все в большей степени определять социально-экономическое развитие стран, специализирующихся на добыче и наиболее энергоемком первом переделе природных ископаемых (черной и цветной металлургии, химической промышленности, производстве удобрений и т.д.).

Примером влияния решений, направленных на снижение выбросов CO<sub>2</sub>, является использование возобновляемых источников энергии, значительно опережающее рост производства электроэнергии за счет ископаемых видов топлива (Nekrasov, Grachev, 2020), а также потребления органических энергоносителей водородом. После 2017 г. в большинстве развитых стран приняты дорожные карты развития водородной экономики, согласно которым водород предполагается полу-

чать паровой и парокислородной конверсией природного газа, газификацией угля, дополнением этих процессов утилизацией образующегося углекислого газа, электролизом воды. Отличительной общей особенностью принятых программ является комплексный подход к решению проблемы, основывающийся на замещении потребления ископаемых видов топлива не только в энергетике, но и в промышленности, на транспорте, в домохозяйствах. Достижение предусмотренных в них целей полностью преобразит не только сектор потребления энергетических ресурсов, но и потребует качественных изменений в энергомашиностроении, двигателестроении, изменит спрос на редкие и цветные металлы и т.д.

Целью статьи является обоснование необходимости пересмотра методологии решения задачи перехода России к безуглеродной энергетике и исследование путей снижения издержек для отечественной экономики для компенсации негативного антропогенного воздействия на основе системного подхода, предполагающего использование потенциала природопользования, в первую очередь способности лесов связывать углекислый газ.

### Материалы и методика исследования

Леса имеют кардинальное значение в динамике наземного углеродного баланса<sup>5</sup>. Они содержат 86% углерода Земли, а лесные почвы включают 73% углерода, имеющегося во всех почвах планеты (Sedjo, 1992). В биомассе лесов содержится в 1,5 раза, а в лесном гумусе в четыре раза больше углерода, чем в атмосфере (Одум, 1975). Восстановлению лесов как механизму сдерживания роста концентрации углекислого газа посвящен ряд исследований (Pan et al., 2011; Griscom et al., 2017; Bastin et al., 2019; Lewis et al., 2019). Несмотря на то что сохранению существующих лесов и увеличению их площади уделяется значительное внимание, от утраты лесов мир теряет экологических услуг на сумму от 2 до 5 трлн долл. США в год (Бобылев, Захаров, 2015).

На этом фоне ситуация в Российской Федерации значительно более благоприятная. Как указано в «Стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года»<sup>6</sup>, объем нетто-поглощений составляет 535 млн т CO<sub>2</sub> (Птичников и др., 2022). Онкратно превосходит ежегодные объемы связывания CO<sub>2</sub> на промышленных и энергетических предприятиях во всем мире в результате апробированных и реализуемых проектов абсорбции углекислого газа из уходящих газов и сопоставимо с ежегодным объемом выбросов CO<sub>2</sub>, образующихся в теплоэнергетике и теплоснабжении России (см. таблицу). Для улавливания эквивалентного количества CO<sub>2</sub> необходимо абсорбировать 65% углекислого газа на всех предприятиях теплоэнергетики и теплоснабжения. Принимая во внимание, что в России 270 ТЭС мощностью более 25 МВт и 70 000 котельных мощностью более 3 Гкал/час, имеющих разную форму собственности (государственную, муниципальную, смешанную российскую, совместную российскую и иностранную), а также тот факт, что наилучшие достижимые технологии позволяют с учетом изменения режимов функционирования каждой конкретной котельной или электростанции снизить выброс CO<sub>2</sub> в лучшем случае на 85–90%, абсорбция 2/3 всех выбросов в отрасли,

<sup>5</sup> IPCC, 2019. "Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems". Shukla P.R., Skea J., Buendia E.C., Masson-Delmotte V., Pörtner H.-O., Roberts D.C. et al. (eds.) (<https://www.ipcc.ch/srcl/>).

<sup>6</sup> «Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года», утвержденная Правительством 29 октября 2021 г. № 3052-р (<http://government.ru/docs/43708/>).

а не отдельного предприятия, если и является достижимой, то за горизонтом планирования Парижского соглашения (2015 г.). Приведенные факты подтверждают общее положение: декарбонизация с помощью технологий химической абсорбции обходится, по меньшей мере, в 1,5–3 раза дороже, чем декарбонизация с помощью природных решений, именно по этой причине природные решения становятся все более популярными (Шварц, Птичников, 2022).

Поэтому Российской Федерации бóльшее внимание следует сосредоточить на использовании природного потенциала для снижения концентрации  $\text{CO}_2$ .

Одна из проблем инициирования решений по секвестрации парниковых газов в России заключается в выборе базовой линии, относительно которой происходит верификация последующих изменений поглощения в результате реализации того или иного проекта. Среднеквадратическая ошибка определения запаса древесины в материалах лесостроительства, положенных в основу Государственного лесного реестра (ГЛР), составляет от  $\pm 15$  до  $\pm 30\%$ , а систематические ошибки допускаются до  $\pm 10\%$  (Филипчук и др., 2020).

Например, в Хабаровском крае в 2020 г. средний запас древесины, по данным государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), составил 126,2 м<sup>3</sup>/га, по данным ГЛР, – 98,9 м<sup>3</sup>/га (Филипчук, Малышева, 2020). При столь высоких исходных погрешностях любой расчет изменений объемов связывания  $\text{CO}_2$  может быть признан недостаточно обоснованным. Дополнительным немаловажным фактом является явная непрозрачность и манипуляция данными о пожарах официальной статистики Рослесхоза с целью уменьшить ущерб и, соответственно, эмиссию углерода лесами в результате пожаров. Так, по данным Счетной палаты Российской Федерации, в 2015–2019 гг. площадь лесных пожаров увеличилась в 3,8 раза: с 2621,8 до 10009,8 тыс. га<sup>7</sup>. Поэтому оказывается недейственным разработанный (Стеценко и др., 2019) экономический механизм, позволяющий отечественным производителям компенсировать выбросы парниковых газов за счет поглощений их лесами и передавать поглощенные объемы из российского лесного сектора в другие сектора экономики. В результате известен единственный прецедент за 1990–2019 гг. монетизации Российской Федерацией своего вклада в снижение негативного антропогенного воздействия: продажа ПАО «Газпром нефть» японским компаниям Mitsubishi и Nippon Oil углеродных квот на сумму около 3,5 млн евро в 2010 г.,<sup>8</sup> что не сопоставимо с фактическим вкладом в увеличение поглощения  $\text{CO}_2$  российскими лесами. В итоге в России сформировалась негативная позиция к целесообразности реализации проектов по секвестрации парниковых газов. В большинстве случаев хозяйствующие субъекты их воспринимают в основном как угрозу собственным экономическим или бизнес-интересам (Шварц и др., 2022).

Наряду с продолжением работы, направленной на гармонизацию российской и международной системы учета поглощающей способности не только лесов (Замолотчиков, Грабовский, Краев, 2011; Замолотчиков, Коровин, Гитарский, 2007), но и почв (Кудеяров, 2018; Кудеяров и др., 2007), следует провести анализ возможности реализации локальных, региональных проектов абсорбции  $\text{CO}_2$ .

<sup>7</sup> Отчет Счетной палаты РФ о результатах совместного контрольного мероприятия «Проверка эффективности планирования и расходования бюджетных средств, предусмотренных на техническое оснащение субъектов Российской Федерации лесопожарной техникой и оборудованием, и использования приобретенного имущества в 2019 году и истекшем периоде 2020 года» с контрольно-счетными органами субъектов Российской Федерации. 36 с.

<sup>8</sup> «На пути к чистым доходам: что несет России Парижское соглашение». АКРА. 18.11.2019 (<https://www.acra-ratings.ru/research/1518>).

Одним из таких проектов является управляемое восстановление лесов на территории Рыбинского водохранилища.

До начала 1930-х годов в концепции комплексного народно-хозяйственного освоения Волги первостепенной являлась транспортная проблема, и только потом – рост значения Волги как источника водоснабжения, электроэнергии и орошения сельскохозяйственных угодий (Бурдин, 2011). Ее решение предполагало создание восьми крупных гидроузлов, в том числе Рыбинского водохранилища. Для обеспечения судоходства первоначально при строительстве Рыбинского гидроузла все обоснования делались исходя из нормального подпорного уровня (НПУ) 92,5 м. Расчеты показывали, что такой уровень затопления соответствовал концепции народно-хозяйственного освоения Волги (Кузнецов, 2020). Впоследствии было принято решение изменить НПУ Рыбинского водохранилища с 92,5 до 98 м, что превышало максимальный уровень паводков по меньшей мере на 3 м и соответствовало затоплению 2500 км<sup>2</sup>. В результате обеспечивались:

- формирование емкости водохранилища, позволяющей аккумулировать паводковый сток, срезать пики паводков и предотвращать возможность наводнений;
- водоснабжение в Поволжье водой требуемого качества, в том числе в засушливые годы;
- функционирование Рыбинской ГЭС, предусматривающее ее участие в частотном регулировании энергосистемы;
- объем стока ниже по течению, необходимый как для работы проектируемых ГЭС в требуемых для энергосистемы режимах, так и для судоходства;
- достаточный уровень воды для судоходства в навигационный период на всех участках в районе затопления.

Однако в апреле 1936 г. экспертная комиссия Госплана СССР приняла решение дополнительно повысить нормальный подпорный уровень (НПУ) с 98 до 102 м. По новому проекту площадь затопляемых земель увеличивалась на 2380 кв. км и достигала 4580 км<sup>2</sup>.

Можно по-разному относиться к этому решению о повышении НПУ Рыбинского водохранилища. Одна точка зрения заключается в том, что это – директивное и никакими дополнительными геологическими изысканиями, выкладками и расчетами не подкрепленное решение. Оно не предусматривало никаких мероприятий защиты наиболее ценных земель. На затопление при этом была обречена не только пойма, но и значительная часть водораздельных пространств (Кузнецов, 2020). Альтернативная позиция основывается на том, что в конце ледниковой эпохи и в первое время после окончания оледенения значительную часть Молого-Шекснинской низины занимало обширное древнее озеро, по размерам превышающее Рыбинское водохранилище. Последнее оледенение, которое, по классификации К.К. Маркова, называется Валдайским, лишь частично доходило до северо-западной и северной границ Молого-Шекснинской низины. Современная гидрографическая сеть сформировалась после того как воды этого озера ушли и по нему, промывая себе новые русла, потекли Волга, Шексна, Молога и их притоки. Поэтому с точки зрения гидростроительства

такое заполнение ложа древнего Молого-Шекснинского озера было достаточно логичным и обоснованным (Фортунатов, 1974).

Последующие десятилетия показали, что проведенная корректировка основ комплексного народно-хозяйственного освоения Волги и смещение акцента на использование дешевой электроэнергии ГЭС были единственно правильными и жизненно необходимыми.

Но в XXI в. ситуация изменилась. После завершения реформы электроэнергетики в России началось увеличение количественных показателей генерирующих компаний, не сбалансированное с изменениями спроса на электроэнергию (Nekrasov, 2021). Результатом ввода новых электростанций и увеличения мощностей действующих энергоблоков, опережающих изменение потребности в электроэнергии, стало снижение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) энергосистемы. Если в 1990 г. число часов использования мощности ТЭС СССР составляло 5745 час/год<sup>9</sup> (КИУМ 0,66), то в 2020 г. этот показатель стал равным 3631 час/год<sup>10</sup> (КИУМ 0,41). КИУМ ТЭС значительно снизился в тех регионах, где прирост количественных показателей генерирующих компаний в большей степени превышал изменение потребности в электроэнергии.

Анализ результатов производственной деятельности российских ТЭС приводит к выводу, что на территориях, окружающих Рыбинское водохранилище, избыточность энергетических мощностей к 2020-м годам стала более выражена по сравнению с другими регионами. Например, КИУМ Череповецкой ГРЭС в 2018 г. составил 33,2%, в 2019 г. — 35,5%, в 2020 г. — 30%. Данные показатели — значительно ниже по сравнению со среднероссийским уровнем, они не могут быть объяснены особенностями менеджмента материнской компании — ПАО «ОГК-2». Одной из основных причин сокращения доли выработки ПАО «ОГК-2» на российском рынке электроэнергии с 6,4 до 4,2% в 2016–2020 гг. является уменьшение загрузки оборудования электростанций по заданию Системного оператора в результате снижения востребованности генерации в ОЭС<sup>11</sup>. При этом КИУМ Серовской ГРЭС, также входящей в эту генерирующую компанию, превышал в рассматриваемый период 72%. Общей особенностью Серовской и Череповецкой станций является изначальное проектирование и дальнейшее функционирование для энергоснабжения промышленных, преимущественно металлургических, предприятий. Поэтому сопоставление показателей их производственной деятельности под единым управлением, в условиях единой корпоративной культуры является вполне правомерным. Его результаты подтверждают предположение об избыточности установленной мощности в районе Рыбинского водохранилища. К этому же выводу приводит анализ динамики производства электроэнергии Костромской ГРЭС, входящей в состав другой генерирующей компании, — ПАО «ИнтерРАО». В 2020 г. снижение выработки на этой станции составило 5 648 млн кВт×ч. В 2020 г. было произведено 9 635 млн кВт×ч, в 2019 г. — 15 283 млн кВт×ч, в 2018 г. — 13 210 млн кВт. КИУМ Костромской ГРЭС — конденсационной станции с самым низким удельным расходом условного топлива на производство электроэнергии в номинальном режиме, единствен-

<sup>9</sup> (Народное хозяйство СССР за 70 лет ..., 1987, с. 162).

<sup>10</sup> «Отчет о функционировании ЕЭС России в 2020 году» ([https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups\\_rep2020.pdf](https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups_rep2020.pdf)).

<sup>11</sup> «Годовой отчет ПАО «ОГК-2» за 2020 г.» (<https://www.ogk2.ru/upload/iblock/184/184aa05ccd9621739947919414eafb2a.pdf>), с. 56.

ной в мире станции, где эксплуатируется уникальный энергоблок с одновальной турбиной мощностью 1200 МВт, составил в 2018 г. — 41,9%, в 2019 г. — 48,5%, в 2020 г. — 30,5%.

В теплоэнергетике существует строгая зависимость между экономической эффективностью функционирования крупных электростанций и их КИУМ. Следствием низкого КИУМ является рост стоимости электроэнергии за счет ухудшения удельных производственных показателей: увеличения численности обслуживающего персонала, увеличения расхода топлива на производство электроэнергии, снижения фондоотдачи и т.д. В соответствии с этой закономерностью в 2020 г. рост удельного расхода условного топлива на отпуск всей электроэнергии с шин ТЭС, входящих в ПАО «ИнтерРАО», несмотря на высокую долю в установленной мощности современных парогазовых установок, увеличился на 2,8 г у.т. / кВт×ч<sup>12</sup>.

В перспективе, в условиях отсутствия роста спроса на электроэнергию, опережающего изменения количественных показателей генерирующих компаний, нагрузка как вновь созданных, так и ранее функционирующих мощностей не будет увеличиваться, и проблема повышения эффективности их использования не перестанет быть актуальной.

Можно видеть, что значимость производства электроэнергии Рыбинской ГЭС существенно изменилась в 2020-е годы по сравнению с 1940–1970 гг. Годовые изменения результатов производственной деятельности только одной Костромской ГРЭС кратно превышают среднегодовой объем производства Рыбинской ГЭС, который составляет 935 млн кВт×ч.

Сравнение электроэнергии, производимой ГРЭС и ГЭС не вполне корректно, так как более эффективным режимом для крупного, инерционного оборудования ГРЭС является непрерывное производство так называемой базовой электроэнергии. В силу технологических особенностей при помощи ГЭС целесообразнее обеспечивать частотное регулирование в энергосистеме, тем самым согласовывая работу базовых источников с неравномерностью электропотребления, а также с зависящей от природных условий генерацией ветровых и солнечных электростанций (ВЭС и СЭС). Необходимая для этих целей пиковая электроэнергия более дорогая. В рыночной экономике мерой востребованности пиковых источников является соотношение цен на базовую и пиковую электроэнергию. Снижение этого показателя с 2015 г. указывает на уменьшение востребованности пиковой генерации, в частности работы ГЭС. В результате трансформаций, обусловленных механизмами, заложенными в регулирование функционирования российской электроэнергетики после завершения ее реформы, происходит рост доли нерыночных надбавок в структуре цены на электроэнергию и, как следствие — снижение соотношения цен пиковой и базовой генерации. Так, если для потребителей АО «Мосэнергосбыт» с максимальной мощностью от 670 кВт до 10 МВт, выбравших для расчетов третью ценовую категорию, присоединенных к электрическим сетям высокого уровня напряжения (110 кВ), средняя почасовая цена на электроэнергию выросла с мая 2015 г. по май 2020 г. с 2094 до 2437 руб./МВт×ч (на 16,4%), то в этот же период цена за мощность увеличилась с 400 261 до 940 480 руб./МВт в месяц (на 135%)<sup>13</sup>.

<sup>12</sup> «Годовой отчет ПАО «ИнтерРАО» за 2020 г.» ([https://www.interrao.ru/upload/InterRAO\\_AR2020\\_RUSF\\_2.pdf](https://www.interrao.ru/upload/InterRAO_AR2020_RUSF_2.pdf), с. 89).

<sup>13</sup> «Тарифы и цены потребителям АО «Мосэнергосбыт» с максимальной мощностью от 670 кВт до 10 МВт» (<https://www.mosenergosbyt.ru/legals/tariffs-n-prices/between-670kW-10MW.php>).



Не только избыточность энергосистемы и снижение востребованности пиковой генерации, но и появление финансовых инструментов, направленных на сокращение негативного антропогенного влияния, в частности на увеличение поглощающей способности лесов в результате целенаправленного их разведения, делает целесообразным сравнение двух вариантов: продолжения функционирования Рыбинской ГЭС при НПУ 102 м – далее принимаемого в качестве базовой линии проекта – и работу в новом режиме на отметке 98 м. Это значение НПУ, кроме сокращения производства электроэнергии, не затронет совокупности задач, для решения которых изначально создавался Рыбинский гидроузел. Производство электроэнергии ГЭС снизится на 340 млн кВт·ч/год.

Вначале отметим, что по происшествии 80 лет Рыбинский гидроузел не перешел в режим устоявшейся экосистемы. Сегодня в полной мере остается актуальной проблема, сформулированная в 1953 г. «На Рыбинском водохранилище уже сейчас в ряде мест сформированы береговые отмели шириною до 60–70 м при наклоне их поверхности в 1–2 °С, и тем не менее размыв их продолжается, о чем свидетельствует возникновение абразионно-аккумулятивных террас при понижении уровня воды. Следует считать, что показателями стадии развития берега служат не только минимальный уклон отмели, но и общая ширина ее. Из этого можно сделать практический вывод, что отмели, даже обладающие минимальным уклоном, все-таки будут размываться до тех пор, пока они не достигнут соответствующей ширины» (Рыбинское водохранилище, 1953). Но эта ожидаемая ширина, необходимая для перехода водохранилища к устойчивому стационарному функционированию, за 70 лет не достигнута. Продолжается подмыв береговой линии. Сегодня скорость этого процесса на некоторых участках достигает 4 м в год. Необходимым условием для перехода к стабильной экосистеме является, согласно докладу Почвенного института имени Докучаева и факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова от 2013 г., укрепление 250 км береговой линии. Но при этом данное решение будет недостаточным, так как, по оценке В.К. Дебольского, не менее 1440 км береговой линии требуют укрепления (Муратова, 2012).

Еще одним подтверждением отсутствия выхода экосистемы Рыбинского гидроузла на режим устойчивого функционирования является *продолжающееся заиление*, которое в будущем сведет к минимуму транспортное значение Волжского каскада. Соответственно, при снижении НПУ потребуются углубление фарватера на некоторых его участках.

Налицо – незавершенность переходных процессов, свидетельствующих не только об отсутствии структурной устойчивости (способности системы поддерживать функционирование при изменении внешней среды), но и об отсутствии устойчивости функционирования экосистемы при постоянных внешних параметрах. Можно сделать вывод о необходимости системного решения. Таковым является снижение НПУ до 98 м. Результатом станет верифицируемое восстановление лесов на площади 2380 кв. км относительно текущей базовой линии – уровня водохранилища в 102 м. Аналогичный, но более масштабный процесс залесения освободившихся территорий произошел без человеческого вмешательства после исчезновения древнего озера, находившегося в значительной части Молого-Шекснинской низины в конце ледникового периода. Залесение

в результате снижения НПУ лишь частично компенсирует уничтожение 3645 кв. км лесов при строительстве водохранилища. Одним из подтверждений прогноза быстрого восстановления лесов являются неоднократные появления молодых побегов деревьев на участках, обнажавшихся при снижении уровня водохранилища в маловодные годы.

### Результаты исследования и их обсуждение

Оценить поглощающую емкость проекта восстановления лесов в результате снижения НПУ Рыбинского водохранилища можно на основе следующих данных. Согласно (Люри и др., 2010) в южной тайге на суглинистых почвах стабилизации общих запасов углерода в экосистеме следует ожидать на уровне 35 кг на квадратный метр (кгс/м<sup>2</sup>). Максимальная скорость накопления углерода приходится на время активного формирования древесного яруса. При этом в средней и южной тайге она примерно одинакова и колеблется в пределах 0,22–0,26 кгс/м<sup>2</sup> в год. Итоговое накопление углерода будет составлять 27,6 кгс/м<sup>2</sup> (Рыжкова, Ерохова, Подвезенная, 2015). Так как климат в районе Рыбинского водохранилища – умеренно-холодный, влажный континентальный – «Dfb» – по классификации климатов Кеппен и Гейгера, среднегодовая температура 4,7–5 °С, с учетом регрессионных уравнений (Грабовский, Замолодчиков, 2019) приведенные значения останутся неизменными при увеличении среднегодовых температур в пределах 2 °С.

Таким образом, суммарный секвестр углерода на территории 2380 кв. км будет составлять 84 млн т, в том числе не менее 30 млн т к 2045 г. Данный горизонт прогнозирования обусловлен принятыми на COP-26 UNFCCC в Глазго решениями, которые ограничили срок лесоклиматических проектов 45 годами. Сделав предположение, что не более 20% освобождаемой территории может быть занята под сельскохозяйственные угодья, а также под рекреационную инфраструктуру на вновь сформировавшейся береговой линии, можно оценить скорость процесса в 0,42 млн т углерода в год, или в пересчете на CO<sub>2</sub> – 1,53 млн т в год. При средней цене фьючерсов на эмиссию в размере 80 евро/т CO<sub>2</sub> в 2022 г. ежегодные платежи за поглощение углекислого газа (122 млн евро/год) более чем в 13 раз будут превышать сокращение выручки на оптовом рынке электрической энергии и мощности от уменьшения производства электроэнергии на Рыбинской ГЭС на 340 млн кВт×ч.

Как любой системный проект, восстановление лесов в результате снижения уровня Рыбинского водохранилища относительно базовой линии 102 м до 98 м имеет комплексный характер. Помимо секвестра парниковых газов, увеличения рекреационных зон, решения проблемы размыва береговой линии, скоординированное восстановление лесов с решением экологических задач позволит продолжить опыт создания полноценных экосистем путем насыщения фитоценозов дикими копытными или адаптивными породами домашних животных. В качестве примеров можно привести проекты ревайлдинга на северо-востоке Якутии, в степях и лесной полосе в Оренбургской области (Левыкин и др., 2020), на территории радиационного заповедника Беларуси, в Венгрии, в Чехии, в Польше, в Румынии.

В отличие от реализации перечисленных мероприятий, связанных с абсорбцией  $\text{CO}_2$  уходящих газов, образующихся в энергетике или промышленности, отказ от западной модели, изменение методологии перехода к безуглеродной экономике и использование географического природного потенциала регионов России, направленного на достижение показателей углеродной нейтральности, является примером снижения негативного антропогенного воздействия, который не приводит к возрастанию издержек энергоснабжения.

Несмотря на локальный характер, проект восстановления лесов на части территории Рыбинского водохранилища имеет международное значение. Его задачей является частичная компенсация происходящей в мире убыли лесов, в частности восполнения потерь лесов Северной Америки, где в 2001–2014 гг. только в Северной Каролине более 160 км<sup>2</sup> территории в результате продвижения вглубь материка береговой линии океана изменились от прибрежного леса к переходно-призрачному лесу, характеризующемуся солеустойчивыми кустарниками и травянистыми растениями (Fabio Farinosi, Dosio, Calliari, 2020). Согласно отчету (Глобальная оценка лесных ресурсов ..., 2021) общая площадь лесов в мире продолжает сокращаться, и в 1990–2020 гг. мир потерял более 4,38% лесов (178 млн га). Поэтому в России, как и во всем мире, «необходимо ускорить работу по прекращению обезлесения, чтобы полностью реализовать потенциал лесов в обеспечении устойчивого производства продовольствия, сокращении масштабов нищеты, укреплении продовольственной безопасности, сохранении биоразнообразия и противодействии изменению климата, при сохранении устойчивого производства всех других продуктов и услуг, предоставляемых лесами»<sup>14</sup>.

### Заключение

Перенос в Российскую Федерацию международной практики энергоперехода приведет к снижению темпа социально-экономического развития страны. Решением является корректировка методологии перехода к безуглеродной энергетике России. В результате изменения управления природопользованием можно достичь не меньших результатов снижения негативного антропогенного воздействия на окружающую среду по сравнению с апробированными на западе решениями проблемы изменения климата путем секвестра и последующего захоронения  $\text{CO}_2$  уходящих газов промышленности и энергетики.

На примере восстановления лесов на части территории Рыбинского водохранилища показана возможность обеспечивать секвестр  $\text{CO}_2$  в объеме 1,53 млн т в год. Изменение НПУ с текущей базовой линии в 102 до 98 м приведет к восстановлению лесов, как это произошло в результате ухода вод древнего Молого-Шекснинского озера. После окончания Валдайской ледниковой эпохи занимаемая им территория, по размерам превышающая сегодняшнее Рыбинское водохранилище, была залесена естественным образом без вмешательства человека. Финансовые поступления от секвестрации углекислого газа в результате его верифицируемого связывания восстанавливающимися лесами на 80% территории в 2380 кв. км при средней цене фьючерсов на  $\text{CO}_2$  в 2022 г. 80 евро/т  $\text{CO}_2$  будут составлять 122 млн евро/год, что более чем в 13 раз превышает потерю выручки в результате уменьшения производства электроэнергии Рыбинской ГЭС на 340 млн кВт×ч в год в связи с изменением уровня водохранилища. Достижение

<sup>14</sup> «Сегодня в инновационном формате был представлен самый полный в мире анализ лесных ресурсов». О докладе ФАО «Глобальная оценка лесных ресурсов – 2020». 21.07.2020. Рим (<http://www.fao.org/news/story/ru/item/1298968/icode/>).

эквивалентного результата ежегодного секвестра CO<sub>2</sub> путем заимствования наилучших применяемых в западных странах технологий предполагает проведение комплекса мероприятий, направленных на модернизацию действующих тепловых станций на сумму в 399 млн евро.

Таким образом, методологически неверным является следование Россией по все более настойчиво предлагаемому международным сообществом сценарию абсорбции и захоронения углекислого газа. Необходимо до начала реализации любых проектов, направленных на переход к безуглеродной энергетике, основываться на системном подходе, предполагающем сопоставление нагрузки на отечественную экономику от переноса решений с применением наилучших достижимых технологий, апробированных в западных странах, и мероприятий, направленных на повышение эффективности управления природопользования, в частности – на увеличение площади лесов.

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Бобылев С.Н., Захаров В.М.** (2015). Экосистемные услуги. Человек и природа. М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. 25 с. [**Bobylev S.N., Zakharov V.M.** (2015). *Ecosystem services. Human and nature*. Moscow: Department of nature management and environmental protection of the city of Moscow. 25 p. (in Russian).]
- Бурдин Е.А.** (2011). Волжский каскад ГЭС: триумф и трагедия России. М.: РОССПЭН. 398 с. [**Burdin E.A.** (2011). *Volga HPP cascade. Triumph and tragedy of Russia*. Moscow: ROSSPEN. 398 p. (in Russian).]
- Глобальная оценка лесных ресурсов 2020 года (2021). Основной отчет. Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО). 184 с. DOI: 10.4060/ca9825ru [*Global forest resources assessment 2020* (2021). Main report. Italy. Rome: UN FAO. 184 p. DOI: 10.4060/ca9825ru (in Russian).]
- Грабовский В.И., Замолодчиков Д.Г.** (2019). Зависимость запасов древесины в лесах России от климатических параметров // *Лесоведение*. № 2. С. 83–92. [**Grabovsky V.I., Zamolodchikov D.G.** (2019). Dependence of wood stocks in Russian forests on climatic parameters. *Russian Journal of Forest Science*, 2, 83–92 (in Russian).]
- Емельянов К., Зотов Н.** (2021). Экономия на декарбонизации // *Энергетическая политика. Общественно-деловой научный журнал*. 14.10.2021. Режим доступа: <https://energypolicy.ru/ekonomiya-na-dekarbonizaczii/energoperehod/2021/16/14/> [**Emelyanov K., Zotov N.** (2021). Savings on decarbonization. *Energy Policy. Social and Business Scientific Journal*. 10.14.2021. Available at: <https://energypolicy.ru/ekonomiya-na-dekarbonizaczii/energoperehod/2021/16/14/> (in Russian).]
- Замолодчиков Д.Г.** (2021). Прогноз глобального потепления по простой статистической модели. В сб.: *Материалы Седьмой конференции «Математическое моделирование в экологии» EcoMatMod-2021*. Пушчино. С. 35–36. [**Zamolodchikov D.G.** (2021). Prediction of global warming by a simple statistical model. In: *Proceedings of the Seventh Conference “Mathematical Modeling in Ecology” EcoMatMod-2021*. Pushchino, 35–36 (in Russian).]

- Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н.** (2011). Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // *Лесоведение*. № 6. С. 16–28. [Zamolodchikov D.G., Grabovsky V.I., Kraev G.N. (2011). Dynamics of the carbon budget of forests in Russia over the last two decades. *Russian Journal of Forest Science*, 6, 16–28 (in Russian).]
- Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Гитарский М.Л.** (2007). Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации // *Лесоведение*. № 6. С. 23–34. [Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Gitarsky M.L. (2007). Carbon budget of managed forests in the Russian Federation. *Russian Journal of Forest Science*, 6, 23–34 (in Russian).]
- Кудеяров В.Н.** (2018). Дыхание биогенных стоков углекислого газа на территории России (аналитический обзор) // *Почвоведение*. № 6. С. 643–658. [Kudeyarov V.N. (2018). Respiration of biogenic sinks of carbon dioxide on the territory of Russia (analytical review). *Eurasian Soil Science*, 6, 643–658 (in Russian).]
- Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А., Борисов А.В., Воронин П.Ю., Демкин В.А.** (2007). Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России М.: Наука. 315 с. [Kudejarov V.N., Zavarzin G.A., Blagodatskii S.A., Borisov A.V., Voronin P. Yu., Demkin V.A. (2007). *Carbon pools and flows in terrestrial ecosystems of Russia*. Moscow: Nauka. 315 p. (in Russian).]
- Кузнецов А.В.** (2020). Наследие древних озер. История польдерных территорий Костромской низменности. Режим доступа: <https://kostromka.ru/kostroma/kuznecov/3.php> [Kuznetsov A.V. (2020). *Heritage of ancient lakes. History of polder territories of the Kostroma lowland*. Available at: <https://kostromka.ru/kostroma/kuznecov/3.php> (in Russian).]
- Лагереv А.В., Ханаева В.Н.** (2010). Возможные направления снижения выброса парниковых газов от электростанций в России до 2050 г. // *Известия Российской академии наук. Энергетика*. № 1. С. 50–58. [Lagerev A.V., Khanaeva V.N. (2010). Possible ways to reduce greenhouse gas emissions from power plants in Russia until 2050. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Energy (Thermal Engineering)*, 1, 50–58. Available at: <https://new.ras.ru/work/publishing/journals/izvestiya-rossiyskoy-akademii-nauk-energetika/> (in Russian).]
- Левыкин С.В., Чибилёв А.А., Кочуров Б.И., Казачков Г.В.** (2020). К стратегии сохранения и восстановления степей и управления природопользованием на постцелинном пространстве // *Известия Российской академии наук. Секция географическая*. № 4. С. 626–636. [Levykin S.V., Chibilev A.A., Kochurov B.I., Kazachkov G.V. (2020). Towards a strategy for the conservation and restoration of steppes and environmental management in the post-virgin area. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 4, 626–636 (in Russian).]
- Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваяева Н.А., Щенисенко Е.А., Нефедова Т.Т.** (2010). Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС. 416 с. [Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Schenisenko E.A., Nefedova T.T. (2010). *Dynamics of Russian agricultural lands in the 20th century and post-agrogenic restoration of vegetation and soils*. Moscow: GEOS. 416 p. (in Russian).]

- Макаров А.А.** (2008). Средства и следствия сдерживания эмиссии парниковых газов в энергетике России // *Известия Академии наук. Энергетика*. № 5. С. 3–18. [**Makarov A.A.** (2008). Means and consequences of containment of greenhouse gas emissions in the energy sector of Russia. *News of the Academy of Sciences. Energy*, 5, 3–18 (in Russian).]
- Муратова Ю.** (2012). Истории о Рыбинском море профессора Дебольского // *Рыбинск*. 19.09.12. Режим доступа: <https://gazeta-rybinsk.ru/2012/09/19/5719> [**Muratova Yu.** (2012). Stories about the Rybinsk Sea by professor Debolsky. *Rybinsk*, 19.09.12. Available at: <https://gazeta-rybinsk.ru/2012/09/19/5719> (in Russian).]
- Народное хозяйство СССР за 70 лет: Юбилейный статистический ежегодник (1987). Госкомстат СССР. М.: Финансы и статистика. 766 с. Режим доступа: [http://alldata.narod.ru/USSR\\_70\\_1987/162.html](http://alldata.narod.ru/USSR_70_1987/162.html) [*National economy of the USSR for 70 years: Anniversary statistical yearbook* (1987). Goskomstat of the USSR. Moscow: Finansy i statistika. 766 p. (in Russian).]
- Одум Ю.** (1975). Экология. М.: Мир. 740 с. [**Odum Y.** (1975). *Ecology*. Moscow: Mir. 740 p. (in Russian).]
- Птичников А.В., Шварц Е.А., Попова Г.А., Байбар А.С.** (2022). Роль лесов в реализации стратегии низкоуглеродного развития России // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. Т. 507. № 1. С. 152–157. [**Ptichnikov A.V., Schwartz E.A., Popova G.A., Vaibar A.S.** (2022). The role of forests in the implementation of Russia's low-carbon development strategy. *Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences*, 507, 1, 152–157 (in Russian).]
- Рогинко С.** (2021). Климатический кабинет Байдена и Парижское соглашение // *Научно-аналитический вестник ИЕ РАН*. № 1. С. 7–16. [**Roginko S.** (2021). Biden's climate cabinet and the Paris agreement. *Scientific and Analytical Herald of the Institute of Europe RAS*, 1, 7–16 (in Russian).]
- Рогинко С.А.** (2019). Риски Парижского соглашения для реального сектора экономики // *Труды Вольного экономического общества России*. Т. 216. № 2. С. 204–214. [**Roginko S.A.** (2019). Risks of the Paris agreement for the real sector of the economy. *VEO of Russia Today*, 216, 2, 204–214 (in Russian).]
- Рыбинское водохранилище. Изменение природы побережий водохранилища (1953). Часть 1. Ю.А. Исакова (ред.). М.: МОИП. 213 с. [*Rybinsk reservoir. Changing the nature of the shores of the reservoir* (1953). Part 1. Yu.A. Isakova (ed.). Moscow: MOIP. 213 p. (in Russian).]
- Рыжкова И.М., Ерохова А.А., Подвезенная М.А.** (2015). Изменение запасов углерода в постагрогенных экосистемах в результате естественного восстановления лесов в Костромской области // *Лесоведение*. № 4. с. 307–317. [**Ryzhkova I.M., Erokhova A.A., Podvezennaya M.A.** (2015). Changes in carbon stocks in post-agrogenic ecosystems as a result of natural reforestation in the Kostroma region. *Russian Journal of Forest Science*, 4, 307–317 (in Russian).]
- Стеценко А.В., Грабовский В.И., Замолодчиков Д.Г., Енголян О.З.** (2019). Парижское соглашение: возможности повышения конкурентоспособности отечественного бизнеса за счет сохранения лесов // *Вестник Московского государственного университета. Серия 6: экономика*. № 4. С. 140–159. [**Stetsenko A.V., Grabovsky V.I., Zamolodchikov D.G., Engolyan O.Z.** (2019). The Paris agreement: Possibilities for

- increasing the competitiveness of domestic business by conserving forests. *Moscow University Economics Bulletin. Series 6. Economy*, 4, 140–159 (in Russian).]
- Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2014–2018 гг. (2020). Информационно-аналитический доклад. М.: ФГБУ «РЭА» Минэнерго России. 110 с. [*Thermal power and district heating in Russia in 2014–2018* (2020). Information and analytical report. Moscow: FGBU “REA” of the Ministry of Energy of Russia. 110 p. (in Russian).]
- Филипчук А.Н., Малышева Н.В.** (2020). Оценка возможности использования данных государственной инвентаризации лесов для реализации национальных обязательств в рамках Парижского соглашения. Материалы Всероссийской V научно-технической конференции-вебинара. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова. Леса России: политика, промышленность, наука, образование. СПб: Политех-Пресс. С. 271–273. [**Filipchuk A.N., Malysheva N.V.** (2020). Assessment of the possibility of using data from the state forest inventory for the implementation of national obligations under the Paris Agreement. *Materials of the All-Russian V scientific and technical conference-webinar. St. Petersburg State Forest Engineering University named after V.I. SM. Kirov. Forests of Russia: politics, industry, science, education*. St. Petersburg: Polytech-Press, 271–273 (in Russian).]
- Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Золина Т.А., Югов А.Н.** (2020). Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата // *Лесохозяйственная информация*. № 1. С. 92–113. DOI: 10.24419/LHI.2304–3083.2020.1.10 [**Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Zolina T.A., Yugov A.N.** (2020). Russian boreal forests: Opportunities for climate change mitigation. *Forestry Information*, 1, 92–113. DOI: 10.24419/LHI.2304–3083.2020.1.10 (in Russian).]
- Фортунатов М.А.** (1974). Физико-географический очерк Рыбинского водохранилища // *Труды Дарвинского государственного заповедника*. Вып. XII. С. 3–11. [**Fortunatov M.A.** (1974). Physical and geographical outline of the Rybinsk reservoir. *Proceedings of the Darwin State Nature Reserve*, XII, 3–11 (in Russian).]
- Шварц Е.А., Птичников А.В.** (2022). Стратегия низкоуглеродного развития России и роль лесов в ее реализации // *Труды Вольного экономического общества России*. Т. 236. № 4. С. 399–426. [**Shvarts E.A., Ptichnikov A.V.** (2022) The strategy of low-carbon development of Russia and the role of forests in its implementation. *VEO of Russia Today*, 236, 4, 399–426 (in Russian).]
- Шварц Е.А., Птичников А.В., Кокорин А.О., Кренке А.Н.** (2022). Трансграничное углеродное регулирование и леса России: от ожиданий и мифов к реализации интересов // *Экономическая политика*. Т. 17. № 5. С. 54–77. [**Shvarts E.A., Ptichnikov A.V., Kokorin A.O., Krenke A.N.** (2022). Transboundary carbon regulation and Russian forests: From expectations and myths to realizing interests. *Economic Policy*, 17, 5, 54–77 (in Russian).]
- Bastin J.-F., Finegold Y., Garcia C., Mollicone D., Rezende M., Routh D.** et al. (2019). The global tree restoration potential. *Science*, 365, 76–79. DOI: 10.1126/science.aax0848
- Fabio Farinosi F., Dosio A., Calliari E.** (2020). Will the Paris Agreement protect us from hydro-meteorological extremes? *Environmental Research Letters*, 15 (10). DOI: 10.1088/1748–9326/aba136

- Gaurina-Medimurec N., Novak Mavar K., Majić M.** (2018). Carbon capture and storage (CCS): Technology, projects and monitoring review. *The Mining Geological-Petroleum Engineering Bulletin*, 33, 1–15. DOI: 10.17794/rgn.2018.2.1
- Griscom B.W., Adams J.W., Ellis R.A., Houghton G., Lomax D.A., Miteva W.H.** et al. (2017). Natural climate solutions. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 114, 11645–11650. DOI: 10.1073/pnas.1710465114pmid:29078344
- Kim Y., Jang H., Lee J.** et al. (2017). Prediction of storage efficiency on CO<sub>2</sub> sequestration in deep saline aquifers using artificial neural network. *Applied Energy*, 185, 916–928.
- Large pilot testing of the MTR membrane post-combustion CO<sub>2</sub> capture process* (2020). Membrane technology and research. U.S. department of energy National Energy Technology Laboratory. Newark, USA. Available at: <https://www.mtrinc.com/wp-content/uploads/2020/01/mtr.pdf>
- Lewis S.L., Wheeler C.E., Mitchard T.A., Koch A.** (2019). Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. *Nature*, 568, 25–28. DOI: 10.1038/d41586-019-01026-8pmid:30940972
- Nekrasov S.A.** (2021). Tools of the technocenosis theory for forecasting electricity consumption in Russia. *Studies on Russian Economic Development*, 32, 3, 263–273. DOI: 10.1134/S1075700721030102
- Nekrasov S.A., Grachev I.D.** (2020). Renewable energy: Prospects for energy development correction in Russia. *Journal Studies on Russian Economic Development*, 31, 71–78. DOI: 10.1134/S1075700720010104
- Pan Y., Birdsey R.A., Fang J., Houghton R., Pekka E.** et al. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333, 988–993.
- Rubin E.S., Davison J.E., Herzog H.J.** (2015). The cost of CO<sub>2</sub> capture and storage. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 40, 378–400.
- Sedjo R.A.** (1992). Temperate forest ecosystems in the global carbon cycle. *Ambio*, 21, 4, 274–277.
- Stanger R., Wall T., Spörl R., Paneru M., Grathwohl S., Weidmann M.** et al. (2015). Oxyfuel combustion for CO<sub>2</sub> capture in power plants. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 40, 55–125.
- Theo W.L., Lim J.S., Hashim H.** et al. (2016). Review of pre-combustion capture and ionic liquid in carbon capture and storage. *Applied Energy*, 183, 1633–1663.

Поступила в редакцию 04.11.2022

Received 04.11.2022



S.A. Nekrasov

Central Economics and Mathematics Institute RAS (CEMI RAS), Moscow, Russia

## Environmental management from the point of energy transition: The example of the Rybinsk reservoir

**Abstract.** The transfer of the currently emerging international practice of solving the problem of global warming to Russia will lead to an increase in energy supply costs. The result of CO<sub>2</sub> absorption projects at thermal power plants will be a 120–230% increase in the cost of electricity produced by them, which will have a negative impact on socio-economic development. The absorption of carbon dioxide from exhaust gases in industry and energy is a capital-intensive and energy-consuming process. An alternative to preventing an increase in the cost of energy supply for the Russian Federation is to reduce the negative anthropogenic impact by using its natural potential. The increase in the annual absorption of carbon dioxide by Russian forests, which happened over 30 years, is comparable to its current emissions in thermal power engineering and heat supply. The purpose of the article is to substantiate the need to change the methodology for solving the problem of transition to carbon-free energy. In contrast to the transfer into Russia the projects tested in the West for the absorption of CO<sub>2</sub> of exhaust gases from industry and energy sector, one should be based on a systematic approach to carbon dioxide sequestration using opportunities that have not yet been implemented. Using the example of a study of environmental management in the area of the Rybinsk reservoir, the existence of a more effective solution for reducing CO<sub>2</sub> content is shown in comparison with projects implemented in Western countries. Due to the growth of the power system capacity, which is ahead of electricity consumption, the importance of electricity generation at the Rybinsk HPP (hydro power plant) has significantly decreased. Payments for the utilization of greenhouse gases due to reforestation will be at least 15 times higher than the decrease in the HPP's revenue due to a change of reservoir level. Due to the restoration of forests in part of the reservoir area, it is possible to ensure the sequestration of 1.5 million tons of CO<sub>2</sub> per year, which is equivalent to the implementation of projects to capture CO<sub>2</sub> of exhaust gases at gas-fired power plants with a capacity of at least 0.92 MW.

**Keywords:** *reduction of greenhouse gas emissions, reforestation, renewable energy sources, clean electricity production, hydropower.*

Classification JEL: Q48, Q26, P42.

For reference: **Nekrasov S.A.** (2023). Environmental management from the point of energy transition: The example of the Rybinsk reservoir. *Journal of the New Economic Association*, 4(61), 110–126.

DOI: 10.31737/22212264\_2023\_4\_110-126

EDN: CMKUCR