

И. В. Войтов, ректор БГТУ, д.т.н.  
БГТУ, г. Минск

## **ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА (ОБРАЗОВАНИЕ И НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)**

Белорусский государственный технологический университет на протяжении всей своей более чем 85-летней истории занимает ведущие позиции в образовательной и научной сферах. Сегодня он является уникальным, динамично развивающимся инновационным и научным центром.

БГТУ готовит специалистов для производственной и социальной сфер экономики по 32 специальности и 62 специализациям высшего образования первой ступени, 37 специальностям второй ступени (магистратуры), 27 специальностям среднего специального и профессионально-технического образования, 9 специальностям переподготовки кадров и 26 научным специальностям в аспирантуре и докторантуре.

Университет имеет высокий международный авторитет, является базовой организацией государств СНГ по образованию в области лесного хозяйства и лесной промышленности, сертифицировал свою систему менеджмента качества (СМК) в национальной и немецкой системе аккредитации DGA.

БГТУ осуществляет подготовку инженерных кадров в рамках основных направлений, рассматриваемых на данном Форуме, по следующим специальностям и специализациям.

Подготовка инженеров-химиков-экологов по специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» ориентирована на деятельность, направленную на обеспечение комплексного и рационального использования сырьевых, топливно-энергетических ресурсов, водных ресурсов, использование рекреационного потенциала водных объектов Беларуси, мониторинга поверхностных и подземных вод, сохранение и улучшение качества окружающей среды, контроль и нормирование воздействия на окружающую среду на уровне предприятий и территориальных комплексов.

Специальность «Биоэкология» рассматривает процессы мониторинга и биотестирования состояния окружающей среды, биодеструкции загрязнений, микробного синтеза биологически активных веществ из отходов производства, биологической очистки стоков и воздушных выбросов, утилизации и биodeградации отходов промышленности и сельского хозяйства.

Специальность «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» ориентирована на изучение теплоэнергетики, электроэнергетики и нетрадиционной энергетики, принятие оптимальных управленческих решений по эффективному энергоиспользованию, применению прогрессивных методов прогнозирования, планирования, учета, контроля и анализа энергоиспользования производственных систем. Помимо фундаментальной подготовки предусмотрены дополнительные циклы курсов, связанные с энергоберегающими технологиями в области химии, производства строительных материалов, заготовки и переработки древесины.

Промышленность Республики Беларусь испытывает постоянную потребность в инженерах специальности «Технология электрохимических производств» со специализацией «Электрохимическая очистка сточных вод». Профессиональная подготовка инженеров-химиков-технологов по данной специальности ориентирована на организацию и руководство всеми видами работ по технологии очистки особо опасных загрязненных вод.

Подготовка и выпуск специалистов по специальности «Лесное хозяйство» позволяет умело использовать лесные богатства и проводить их воспроизводство, создавать водоохраные и природоохраные леса I категории охраны. Это весьма сложная задача, требующая знаний в самых различных областях: от экологии и ботаники до аэрокосмических методов и инженерной геодезии, от генетики и селекции лесных растений до технологий

механической обработки древесины, от механики машин и механизмов до биологии лесных зверей и птиц.

В БГТУ осуществляется подготовка кадров по специальности «Туризм и природопользование», которая обеспечивает подготовку специалистов, владеющих вопросами проектирования и создания объектов экологического и охотничьего туризма, трансграничного сотрудничества в области охраны и использования трансграничных водных объектов, организации и проведения туристических мероприятий, производство и реализации услуг в туристических организациях, национальных парках и заповедниках, лесохозяйственных хозяйствах, научно-исследовательских, производственно-коммерческих и образовательных учреждениях.

Актуальные вопросы водоподготовки, очистки сточных вод и осадков рассматриваются в дисциплинах образовательных программ дополнительного образования взрослых.

Учебными планами ряда специальностей переподготовки руководящих работников и специалистов предусмотрены дисциплины по вопросам экологии и контроля состояния окружающей среды на предприятиях промышленности. В дипломных проектах по специальности «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» выполнены работы по созданию и внедрению современных участков водоподготовки и очистки сточных вод на ведущих предприятиях химической промышленности и промышленности строительных материалов.

Вопросы водоподготовки и водоочистки также рассматриваются в рамках программ повышения квалификации специалистов лесной деревообрабатывающей, химической, полиграфической отраслей промышленности. Успешно реализуются следующие программы повышения квалификации:

- «Технология электрохимических производств»;
- «Экологическая биотехнология»;
- «Охрана окружающей среды»;
- «Технология сульфатной беленой целлюлозы»;
- «Технология плитных материалов».

С развитием инновационной экономики и рынка информационных технологий возросла потребность в ИТ-специалистах. В университете ведется подготовка инженеров-программистов на факультете информационных технологий. Практически все отрасли национальной экономики (лесное и сельское хозяйство, лесопромышленный комплекс, транспорт, геология и разработка полезных ископаемых, различные государственные службы, армия, милиция и т.д.) нуждаются в программном продукте, создаваемом отечественными программистами. Последнее очень важно для нашей страны с точки зрения обеспечения информационной безопасности используемых технологий и программных средств, что позволяет программно реализовывать важнейшие системы в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

В БГТУ функционирует 34 учебно-научно-производственных центра (УНПЦ) и 18 филиалов кафедр университета на производствах и в организациях республики – заказчиках кадров и 12 научных отраслевых лабораторий и научно-исследовательских лабораторий. В 2017 году созданы филиалы кафедр на базе Государственного научно-производственного объединения «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», Государственного природоохранного учреждения «Республиканский ландшафтный заказник «Налибокский», УП «Минскводоканал».

Мы живем в период изменения климата. В последние 25 лет средняя глобальная температура возросла со скоростью 0,19 °С в десятилетие, что хорошо согласуется с ростом концентрации парниковых газов. Каждый год последнего десятилетия был среди самых теплых лет с начала инструментальных наблюдений. Усиливается таяние льдов, следствие чего является повышение уровня моря (примерно на 3,4 мм /г с 1993 г.).

Наблюдаемое в последние десятилетия потепление связывается в том числе и с изменениями в глобальном гидрологическом цикле, такими как:

- увеличение содержания водяного пара в атмосфере;

- изменение режима, интенсивности и экстремальных величин осадков;
- уменьшение снежного покрова и широкомасштабное таяние льда;
- изменения в почвенной влаге и поверхностном стоке.

В свою очередь данные наблюдений и результаты моделирования свидетельствуют о том, что ресурсы пресной воды подвержены значительному воздействию в результате изменения климата. Следствием этого являются негативные последствия для экономики большинства стран и многих экосистем. Органы исполнительной власти не смогут разрешить наиболее злободневные цели устойчивого развития без кардинального сдвига в управлении водными ресурсами.

За 20-е столетие количество осадков, выпавших на поверхность суши, в основном увеличилось в высоких северных широтах. Частота сильных осадков увеличилась на большинстве территорий. В глобальном масштабе, площадь суши, которая классифицируется как очень сухая, с 1970-х годов увеличилась более чем вдвое. Значительно уменьшились запасы воды в горных ледниках и снежном покрове Северного полушария.

По прогнозам, к 2050 г. площадь суши, подверженная растущему водному стрессу, будет более чем в два раза превышать площадь с ослабевающим водным стрессом. Под водным стрессом, как известно, понимают недостаток воды приемлемого для потребления (прежде всего питьевые и хозяйственно-бытовые нужды) качества. Он характеризует интенсивность использования запасов пресной воды и определяется как процентное отношение валового водозабора к совокупным возобновляемым ресурсам пресной воды.

Совокупное воздействие изменяющегося климата, роста численности народонаселения и урбанизации ведёт к тому, что спрос на водные ресурсы будет расти, в то время как их предложение становится все более ограниченным и нестабильным. Дефицит водных ресурсов в сочетании с другими факторами может привести в ряде регионов к снижению темпов роста ВВП, неконтролируемой миграции и конфликтам.

Большинством климатических моделей для XXI века прогнозируется увеличение осадков в высоких широтах и в некоторых частях тропиков, и уменьшение в некоторых субтропических и более низких среднеширотных регионах. Прогнозируется увеличение интенсивности и частоты осадков, что повысит риск наводнений и засухи во многих районах.

Расчеты показывают, что на Севере Евразии к 2050 г. их частота возрастает в 2–4 раза, а к 2100 г. – в 3–5 раз. Например, аномально сильные паводки или «волны жары», встречавшиеся раз в 20 лет, будут каждые 4–6 лет (Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК. М.:2014).

Для условий Беларуси при изменении климата наибольший риск связан с наводнениями. Анализ данных о наводнениях 1845 и 1931 гг. показывает, что на территории Беларуси высока вероятность формирования в будущем и более катастрофических паводков и половодий. Такая ситуация возможна при усилении антропогенной нагрузки на водосборе и обусловлена с гидрологической точки зрения существенным изменением условий формирования стока (Шестое национальное сообщение Республики Беларусь Оценка уязвимости, воздействия изменения климата и меры по адаптации.)

По некоторым оценкам к 2025 году более 2,8 миллиардов людей 48 стран мира будет испытывать нехватку воды. К 2050 году количество людей, постоянно испытывающих нехватку воды, может достичь 7 миллиардов.

Ожидается, что повышение температуры воды в сочетании с повышением частоты экстремальных явлений (в том числе наводнения и засухи), окажет негативное воздействие на качество воды и увеличит ее загрязнение (рост содержания биогенных веществ, растворенного органического углерода, патогенов, пестицидов, солей и теплового загрязнения), что негативно скажется на состоянии экосистем.

Изменения в количестве и качестве воды в большинстве регионов, вызванные изменением климата, окажут негативное влияние на обеспеченность продовольствием, продовольственную стабильность, доступ к продовольствию и его использование.

Изменение климата влияет на функционирование водного хозяйства на всех уровнях, включая гидроэнергетику, дренажные и оросительные системы, системы водоснабжения

и водоотведения. Это влияние прежде всего сказывается на эксплуатационных расходах, которые существенно возрастают.

Для обеспечения устойчивого функционирования водного хозяйства в условиях изменяющегося климата необходимо, чтобы система управления была адаптирована к этим изменениям и их последствиям для водных ресурсов. Это возможно в рамках Интегрированного Управления Водными Ресурсами (ИУВР), которое базируется на результатах мониторинга, позволяющего оценить отклонения, связанные с изменением климата, и использовать их при разработке краткосрочных и долгосрочных мер. ИУВР создает основу для осуществления мер по адаптации во всех социально-экономических, природоохранных и административных системах.

Адаптация предполагает разработку стратегий, ориентированных на спрос и предложение водных ресурсов; расширение использования экономических стимулов, включая учет расхода воды и установление цены на воду, развитие рынков воды, увеличение полезного объема водохранилищ, перераспределения воды и др.

Нужно в корне изменить отношение к воде, стимулируя экономию воды в сфере производства и потребления. Движущими факторами процесса снижения водоемкости производства являются изменения в технологии, моделях поведения, приоритетах социально-экономического развития и даже изменения в политике. Долговременное влияние на водопотребление могут иметь решения, закладываемые в градостроительных проектах общего планирования – схемах комплексной территориальной организации всех уровней, генеральных планах населенных пунктов. Необходимо шире использовать для оценки эффективности водной стратегии государства, производства и технологий такой показатель, как «Водный след».

В 2014 году Международной организацией стандартизации был опубликован стандарт ISO 14046:2014 «Экологический менеджмент. Водный след. Принципы», содержащий рекомендации по измерению водного следа для компаний и государственных организаций. Расчёт водного следа позволяет оценить потенциальные риски использования водных ресурсов, выявить наиболее эффективные способы снижения воздействия на окружающую среду, связанного с водопотреблением, повысить эффективность экономической деятельности.

Водное хозяйство не относится к секторам экономики, характеризующимся значительными выбросами парниковых газов.

Так, на очистных сооружениях метан ( $\text{CH}_4$ ), выделяется на иловых площадках, во время транспортировки и очистки сточных вод, при анаэробном сбраживании осадков сточных вод. Основным источником  $\text{N}_2\text{O}$  является очистка коммунальных сточных вод. Ожидается, что выбросы метана только из сточных вод возрастут почти на 50%, а  $\text{N}_2\text{O}$  на 25% в период между 1990 и 2020 гг., особенно в быстроразвивающихся странах восточной и южной частей Азии. В развивающихся странах из-за быстрого роста населения и урбанизации без параллельного развития инфраструктуры по очистке сточных вод выбросы  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  из сточных вод в общем выше, чем в развитых странах. Используя современные технологические решения по очистке сточных вод и обработке осадков можно значительно сократить выбросы этих парниковых газов или свести практически к нулю.

Меры по снижению выбросов парниковых газов в процессе функционирования водохозяйственного комплекса должны включать:

- использование технологий очистки сточных вод и обработки осадков, позволяющие снизить выбросы парниковых газов, реализовать их энергетический потенциал путем прямого сжигания или через производство биогаза;
- использование гидроэнергетического потенциала водных объектов;
- использование геотермальной энергии;
- изменения в землепользовании и управлении землепользованием в части использования воды.
- выращивание биоэнергетических культур с использованием осадков;
- лесовозобновление с использованием сточных вод для орошения;

– использование очищенных сточных вод для сельскохозяйственного или садового орошения, рыбоводного хозяйства, искусственного пополнения водоносных горизонтов или применений в промышленности.

Повышение энергетической эффективности систем очистки производственных и коммунальных сточных вод весьма актуально для Беларуси. Использование современных систем аэрации, технологий очистки от азота аммонийного, обработки осадков позволяет очистные сооружения из достаточно крупного потребителя энергии превратить в объект, способный функционировать без ее потребления из внешних источников.

При выборе технологических решений по всем перечисленным направлениям важно производить сравнение возможных вариантов проектных решений с учетом воздействия на климат. Это позволяет сделать программные продукты и базы данных, в основу которых положены методики анализа жизненного цикла (например, SimaPro, Umberto и др.). Опыт проведения такого сравнения и методики имеются в БГТУ.

Одно из направлений деятельности Координационно-аналитического центра по биоэнергоресурсам, который создан в БГТУ является расширение использования биогазовых технологий, повышение эффективности действующих установок, сравнительный анализ проектных решений по воздействию на окружающую среду и на климат.

Состояние водных ресурсов, гидрологический режим территории оказывает существенное влияние на состояние лесных ресурсов, которые вносят существенный вклад в поглощение углекислого газа. Для оценки связи гидрологического режима территории, на которой планируются лесопосадки, необходимо лучше понять влияние массовых лесопосадок на процессы, формирующие гидрологический цикл, такие, как дождевые осадки, эвапотранспирация, сток, инфильтрация и пополнение подземных вод. Это позволит принимать взвешенные решения, дающие максимальный природоохранный эффект.

Цель и задачи, определенные Форумом – выработка оптимальных решений по повышению эффективности использования водных ресурсов для нужд экономики и их охраны от истощения и загрязнения в условиях изменяющегося климата – соответствуют «Основным направлениям научной деятельности БГТУ на 2016–2020 гг.», в частности, следующим направлениям:

1) разработка методик оценки и контроля показателей воздействия производственных объектов на окружающую среду, технических и технологических решений обращения с отходами;

2) экологическая биотехнология и промышленная безопасность;

3) повышение эффективности использования лесных ресурсов Республики Беларусь путем адаптации лесохозяйственной деятельности к изменению погодноклиматических условий, сохранения и усиления роли лесов в охране здоровья граждан и улучшения состояния окружающей среды.

Университет выступает в качестве головной организации-исполнителя ГНТП «Леса Беларуси – устойчивое управление, инновационное развитие, ресурсы», а также подпрограммы «Гальванотехника» ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении». Я являюсь научным руководителем подпрограммы «Устойчивое использование природных ресурсов и охрана окружающей среды» ГНТП «Природопользование и экологические риски». В рамках данных программ выполняются многие проекты, направленные на рациональное использование водных ресурсов и охрану окружающей среды.

В рамках вышеуказанных направлений учеными БГТУ успешно решается ряд фундаментальных и прикладных проблем и задач:

– способы обращения с осадками очистных сооружений канализации в Республике Беларусь;

– способы комплексной оценки токсичности осадков сточных вод и продуктов их обработки;

– способ очистки сточных вод производства и применения карбамидоформальдегидных смол от формальдегида;

– извлечение фосфора в процессе обработки осадков сточных вод;

- новые материалы для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов;
- совершенствование водного хозяйства гальванического производства;
- биоэкологический контроль безопасности сточных вод;
- сорбенты для очистки сточных вод из цеолитсодержащих отходов;
- оценка токсичности и детоксикации сточных вод методом биотестирования подвижности клеток;
- разработка информационно-диагностической системы оживления водных объектов в городе;
- получение пигментов из отработанных электролитов гальванического производства;
- измельчение полимеризационных ионитов в вертикальной центробежно-шаровой мельнице;
- ингибирование осадкообразования в водооборотных системах в присутствии органических добавок;
- использование воды в производстве гигиенических моющих средств;
- продукты взаимодействия титансодержащих компонентов с гидроксидом натрия в условиях гидротермальной обработки;
- фотокаталитическая активность композитов на основе нанодисперсного модифицированного диоксида титана;
- влияние нефтепродуктов на процессы миграции фосфора в иловой смеси;
- возможности применения сверхкавитирующих аппаратов в технологиях очистки промстоков;
- кавитационные методы рециклинга промышленных вод;
- санитарно-гигиенических требований к питьевой воде используемой предприятиями пищевой промышленности;
- экспертная система и аналитическая подсистема, реализация математической модели прогнозирования последствий разлива нефтепродуктов;
- практическое использование углерододепонирующей функции лесов с применением целевых мероприятий по возобновлению и уходу за лесом;
- использование рекреационного потенциала водных объектов Беларуси в туризме;
- водоохранные леса Беларуси.

Учеными БГТУ решен ряд важных научно-технических проблем:

- по заказу Норвежского университета естественных наук, разработана учебно-программная документация по управлению водными ресурсами;
- для ООО «ММПЗ ГмбХ» (Австрия) проанализированы проектные решения по охране окружающей среды, разработаны рекомендации по внесению дополнений (изменений) в проектную документацию, предложений по организации производственного контроля в области охраны окружающей среды;
- разработано эколого-экономическое обоснование привлечения средств экологического фонда Республики Польша для финансирования проектов строительства и реконструкции очистных сооружений, расположенным на территориях, находящихся в бассейнах трансграничных с Польшей водных объектов (рек);
- для ОАО «Гродно Азот», ОАО «Мозырский НПЗ» разрабатываются новые высокоэффективные композиции ингибиторов для применения в качестве стабилизаторов жесткости в охлаждающих водооборотных циклах промышленных предприятий;
- для ОАО «Амкодор» – управляющая компания холдинга», ОАО «Речицкий метизный завод» и др. разработана технология получения пигментов и пигментных паст из отработанных технологических растворов нанесения защитных гальванических покрытий, позволяющая снизить воздействие гальванического производства на окружающую среду за счет переработки отработанных технологических растворов гальванического производства с получением импортозамещающей продукции – пигментов и пигментных паст;
- обследованы очистные сооружения ЗАО «Амкодор-Эластомер» и выданы рекомендации по повышению эффективности их работы;

– по заказу Барановичское КУПП «Водоканал» исследовано влияние производственных сточных вод на биологическую очистку и разработаны рекомендации по обеспечению оптимальных условий очистки на очистных сооружениях канализации г. Барановичи;

– по заказу Эколого-просветительского учреждения «Белэкопартнерство» исследована работа действующих коммунальных очистных сооружений бытовых сточных вод и локальных очистных сооружений;

– практически использована углероддепонирующая функция лесов с применением целевых мероприятий по возобновлению и уходу за лесом, которые обеспечивают участие лесохозяйственной отрасли Беларуси на углеродных рынках с инновационными проектами устойчивого лесопользования и сокращения выбросов углекислого газа с доходностью лесного хозяйства до 100 млн. долл. США ежегодно;

– изучены особенности использования потенциала малых рек республики для целей развития экологического водного туризма в регионе ГПУ «НП «Браславские озера»;

– по заказу РУП «Белгослес» на основе анализа базы данных «Лесной фонд Республики Беларусь» дана характеристика водоохранных лесов Беларуси;

– разработаны технические условия на органическое удобрение на основе обезвоженного сброженного осадка сточных вод, получаемого на КПУП «Брестский мусороперерабатывающий завод»;

– для ОАО «Борисовдрев», ОАО «Мостовдрев» и других деревообрабатывающих предприятий республики разрабатываются технологии очистки природных и сточных вод от фосфатов кальций- и магнийсодержащих отходов производства и др.

Для повышения эффективности научных исследований и качества подготовки инженерных кадров в БГТУ функционирует Центр физико-химических методов исследования. В настоящее время в состав Центра входят восемь лабораторий:

- атомно-абсорбционной спектроскопии;
- инфракрасной спектроскопии;
- просвечивающей электронной микроскопии;
- анализа размеров частиц и удельной поверхности;
- термического анализа;
- хроматографии и хромато-масс-спектрометрии;
- рентгеноструктурного анализа;
- сканирующей электронной микроскопии.

Ежегодно количество исследованных Центром образцов по заявкам БГТУ и внешних заказчиков составляет более 2000.